

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 13

№ 4(91)

Межвузовский сборник научных статей
Издается с января 2004 г.

2012



Волгоград
2012

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»
академик РАН *И. А. Новаков*

Редакционная коллегия серии:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

д-р философии *Ле Квет Тан* (Университет г. Канто, Вьетнам)

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

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 4(91) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2012. – 184 с. (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 13).
ISBN 978–5–9948–0936–5

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.

Ил. 91. Табл. 42. Библиогр.: 326 назв.

Часть I. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

<i>Бубнов С. А., Овчинников И. И.</i> Применение конечно-элементного программного комплекса ANSYS к расчету толстостенного трубопровода, подвергающегося неоднородной водородной коррозии.....	5
<i>Голованчиков А. Б., Балашов В. А., Меренцов Н. А.</i> Моделирование нестационарного падения сферической капли в поле сил тяжести.....	8
<i>Королев М. Р., Лобейко В. И., Старусев А. В.</i> Оценка адекватности комплексной модели сложной технической системы.....	12
<i>Крыжановский А. И., Крыжановский Д. И., Никляев И. Ю., Пыхтин П. С.</i> Определение параметров преобразования Хафа для построения карты по данным измерения дальномера.....	15
<i>Лобейко В. И., Макаревич Е. Е., Поляков С. В.</i> Метод определения опорных точек для представления зоны видимости РЛС кругового обзора в вертикальной плоскости в имитационной модели.....	19
<i>Элькин П. М., Смирнов В. В., Алыкова О. М.</i> Модельные расчеты колебательных состояний тринитротолуола, тринитротриазина, гексогена.....	21
<i>Элькин П. М., Нуралиева Д. М., Гайсина А. Р.</i> Моделирование колебательных состояний спиртов в рамках модели молекулярного кластера на примере метанола.....	26
<i>Эрман Е. А., Элькин П. М., Джалмухамбетова Е. А.</i> Математическое моделирование структуры и динамики димеров ацетилсалициловой кислоты.....	31

Часть II. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Быков С. А., Леонтьев В. Г., Скакунов В. Н.</i> Применение метода анализа облаков трехмерных точек в системах технического зрения роботов.....	37
<i>Ересько Д. А., Шабалина О. А.</i> Язык визуального программирования для формирования поведения интеллектуальных агентов.....	41
<i>Кандырин Ю. В., Зинченко Е. Е.</i> Методика автоматизированного многокритериального выбора припоев.....	49
<i>Кизим А. В.</i> Задачи и методы поддержки ТОиР оборудования на протяжении его жизненного цикла.....	55
<i>Кучуганов А. В., Соловьева А. Н.</i> Алгоритмы вербализации изображений на примере словесного портрета человека.....	60
<i>Пашаев С. В., Сычев О. А.</i> Автоматизированная генерация сообщений об ошибках в вопросе с открытым ответом на основе разницы между синтаксическими деревьями проверяемого и эталонного ответов.....	65
<i>Татараидзе А. Б., Скакунов В. Н.</i> Алгоритм автоматического распознавания фазы быстрого сна по вариабельности сердечного ритма на основе метода опорных векторов....	69
<i>Филатова Н. Н., Требухин А. Г.</i> Структурный синтез схем автоматизации в условиях неполных требований к технической реализации.....	72
<i>Фоменков С. А., Колесников С. Г., Дворянkin А. М.</i> Использование структурированных физических знаний для прогнозирования новых нанотехнических систем.....	80
<i>Шапочкин Е. А., Бутенко Л. Н.</i> Исследование процедуры интерпретации субъектом знаний в процессе моделирования.....	83

Часть III. УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

<i>Аль-Шаеби Р. А. А.</i> Методика автоматизированного управления процессом формирования индивидуализированных учебных планов.....	87
<i>Брумштейн Ю. М., Иванова М. В., Хлопкова Н. В.</i> Анализ возможностей и технологий применения тестовых заданий с числовыми ответами.....	92

<i>Гайрабекова Т. И., Квятковская И. Ю.</i> Формирование рационального состава исполнителей бизнес-процессов в сельском хозяйстве.....	98
<i>Гуртяков А. С., Кравец А. Г.</i> Организация дистанционного обучения.....	103
<i>Данг Х. Ф., Камаев В. А., Шабалина О. А.</i> Метод разработки алгоритмов адаптивного тестирования.....	107
<i>Данченко А. Л., Ульшин В. А.</i> Исследование информационной функции Бирнбаума применительно к задаче мониторинга образовательных ресурсов обучающих систем.....	113
<i>Кизим А. В.</i> Применение методологии ТРМ для повышения эффективности предприятий и организаций.....	117
<i>Коротеев М. В.</i> Разработка арифметики нечетких чисел в общей форме.....	122
<i>Кулагин Н. В.</i> Модель построения распределенной базы данных для корпоративных информационных систем.....	127
<i>Кулагина Л. В.</i> Модель формирования отчетных форм распределенной базы данных для корпоративных информационных систем.....	129
<i>Литовкин Д. В., Потапов А. И.</i> Модели и алгоритмы для программного обеспечения системы адаптивного тестирования.....	132
<i>Лобейко В. И., Поляков С. В., Старусев А. В.</i> Метод оценки критериев эффективности АСУ при заданном техническом требовании на систему.....	138
<i>Матлин А. О., Фоменков С. А.</i> Методика построения виртуальной лабораторной работы с помощью автоматизированной системы создания интерактивных тренажеров.....	142
<i>Садовникова Н. П., Киктев А. С.</i> Применение агентного моделирования для построения сценариев стратегического развития.....	144
<i>Сычев О. А., Ерофеев А. А.</i> Совершенствование программного обеспечения модуля Assignment автоматизированной системы ДО Moodle для применения в учебном процессе при изучении основ программирования.....	148
Часть IV. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ	
<i>Бутенко Л. Н., Гонжал Е. И.</i> Разработка процессов идеализации технических систем.....	152
<i>Дворянкин А. М., Романенко Р. Р.</i> Генерация идей при решении изобретательских задач в программировании.....	155
<i>Егунов В. А., Потапов М. И.</i> Трехуровневая архитектура мобильных робототехнических комплексов.....	159
<i>Кравец Е. Г., Попов Е. Ю., Кравец А. Г., Аль-Ашваль М. А. С.</i> Подход к реализации автоматизированной системы дистанционного проведения следственных действий.....	161
<i>Яровенко В. А., Фоменков С. А.</i> FreeAgent-платформа для разработки мультиагентных систем.....	164
<i>Алимов А. А., Шабалина О. А.</i> Система игрового искусственного интеллекта.....	166
Часть V. ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ	
<i>Аль-Ашваль М. С. А., Кравец А. Г., Юдин Д. В.</i> Выбор протокола для построения сети с использованием технологии IP-телефонии.....	170
<i>Быков Д. В., Лепешкин И. С., Неретин А. Д.</i> Использование CMIS-контроллера для интеграции хранилищ электронных данных.....	173
<i>Кручинин С. В., Зотов С. В., Вишняков А. В.</i> К вопросу выбора между специализированностью и универсальностью в проектировании САПР (на примере САПР систем связи).....	177
<i>Лукьянов В. С., Степаненко И. А.</i> Анонимность в системе электронных платежей.....	180

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

УДК 539.4

С. А. Бубнов, И. И. Овчинников

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS К РАСЧЕТУ ТОЛСТОСТЕННОГО ТРУБОПРОВОДА, ПОДВЕРГАЮЩЕГОСЯ НЕОДНОРОДНОЙ ВОДОРОДНОЙ КОРРОЗИИ

Балашовский институт Саратовского государственного университета
им. Н. Г. Чернышевского

E-mail: serbubnov@rambler.ru

Рассматривается способ применения программного комплекса ANSYS к решению задач расчета напряженно-деформированного состояния и разрушения конструктивного элемента, находящегося в условиях неоднородной водородной коррозии.

Ключевые слова: водородная коррозия, разрушение конструктивного элемента, локальный прогрев, метод конечных элементов, фронт обезуглероживания.

S. A. Bubnov, I. I. Ovchinnikov

APPLICATION OF CERTAINLY-ELEMENT PROGRAM COMPLEX ANSYS TO CALCULATION OF THE THICK-WALLED PIPELINE WHICH IS EXPOSED TO NON-UNIFORM HYDROGEN CORROSION

Balashov Institute of Saratov State University N. Chernyshevsky

The way of application of program complex ANSYS to the decision of problems of calculation of the is intense-deformed condition and destruction of the constructive element which is in conditions of non-uniform hydrogen corrosion is considered.

Keywords: hydrogen corrosion, destruction of a constructive element, local warming up, method of final elements.

Теоретические основы метода конечных элементов (МКЭ) были заложены еще в 1943 году Курантом [1]. С увеличением производительности вычислительной техники он, как и любой другой численный метод, получил широкое применение в задачах физики и техники. В последнее время появилось достаточное количество программных комплексов, реализующих МКЭ для решения различных типов задач. Одним из таких комплексов является ANSYS. Наличие встроенного языка параметрического программирования (APDL) позволяет адаптировать его к решению не совсем стандартных задач. Например, возможно осуществить учет воздействия водородосодержащей среды на моделируемый конструктивный элемент.

Исследованию влияния водорода и водородосодержащей среды на материалы элементов конструкций посвящен ряд работ [2; 3] и др. В результате водородной коррозии происходит изменение свойств материала (в худшую сто-

рону), что сказывается на сокращении срока службы конструкции.

Рассмотрим толстостенную трубу, нагруженную внутренним давлением водородосодержащей среды $P = 20$ МПа и находящуюся в неоднородном и нестационарном температурном поле. Неоднородность создается радиальным перепадом температур и участком локального прогрева, температура которого линейно возрастает с течением времени. Температура на внутренней поверхности $T_1 = 543$ °С, на наружной $T_2 = 563$ °С. Температура локального участка возрастает от 563° до 587 °С.

Первым этапом для проведения расчета является построение геометрической модели объекта. В нашем случае ограничимся фрагментом объекта для экономии оперативной памяти ЭВМ в дальнейшем (рис. 1.) Для удобства все построения выполнены в цилиндрической системе координат, которая активируется командой

csys,1. Создание модели осуществляется путем твердотельного моделирования, т. е. указываются геометрические границы модели, определяются параметры управления размером и формой элементов, а затем программа автоматически выполняет построение всех узлов и элементов.

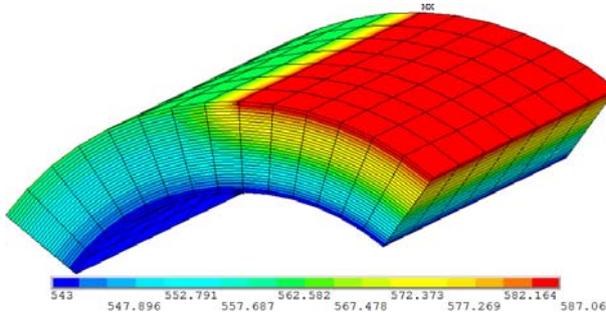


Рис. 1. Фрагмент толстостенной трубы с участком локального прогрева и нанесенной конечно-элементной сеткой

Второй этап заключается в выборе типов используемых конечных элементов, соответствующих виду решаемой задачи, и разбивке геометрической модели на конечные элементы. В нашем случае первоначально требуется определить тепловое поле, т. е. решить нестационарную задачу теплопроводности. Для этой цели подойдет двадцатиузловой 3D-элемент Solid90 [4]. Упорядоченная сетка предпочтительнее свободной, поэтому разобьем все линии геометрической модели на отрезки, длина которых будет соответствовать размеру стороны конечного элемента. При построении упорядоченной сетки необходимо следить за тем, чтобы противоположно расположенные линии состояли из одинакового числа отрезков.

Третий этап включает в себя приложение нагрузок к рассматриваемому образцу и получение решения. Результаты сохраняются в файл для последующего использования их в качестве граничных условий в структурной задаче. На этом этапе необходимо провести вычисление значений параметра химического взаимодействия μ для каждого элемента в соответствующий момент времени, решив уравнение (1) шаговым методом, реализованным с помощью макроса.

$$\frac{d\mu}{d\tau} = k\mu(1 - \mu), \quad \mu(t_0) = \mu_0, \quad (1)$$

где $k = k(P, T, \Pi)$ – коэффициент, зависящий от давления P , температуры T и параметра поврежденности Π . Его значение рассчитывается на каждом временном шаге на основе решенной

тепловой задачи. В ANSYS удобно поступить следующим образом: создать массив параметра μ , номер столбца которого соответствует номеру конечного элемента, а номер строки – моменту времени, для которого получено значение μ . Модуль упругости E^i и коэффициент Пуассона ν^i , а также коэффициенты B^i и n^i в уравнении установившейся ползучести для i -го конечного элемента в фиксированный момент времени будут зависеть от μ следующим образом:

$$\begin{aligned} E^i &= E_0 - \mu^i(E_0 - E_1), \\ \nu^i &= \nu_0 - \mu^i(\nu_0 - \nu_1), \\ B^i &= B_0 \exp\left[\mu^i \cdot \ln\left(\frac{B_1}{B_0}\right)\right], \\ n^i &= n_0 - \mu^i(n_0 - n_1), \end{aligned}$$

где E_0, ν_0, B_0, n_0 – коэффициенты для исходного состояния; E_1, ν_1, B_1, n_1 – соответствуют обезуглероженному состоянию; μ^i – значение параметра химического взаимодействия для элемента i в фиксированный момент времени. Аналогично массиву μ составим массивы для хранения значений E, ν, B, n . Таким образом, получим материал, свойства которого меняются по объему конструктивного элемента и по времени согласно изменению параметра μ .

При неравномерном тепловом поле необходимо учитывать зависимости модуля Юнга и коэффициент Пуассона от температуры. Будем считать их нелинейными как для исходного материала, так и для полностью обезуглероженного (рис. 2). За базовую температуру возьмем температуру на внутренней поверхности трубы.

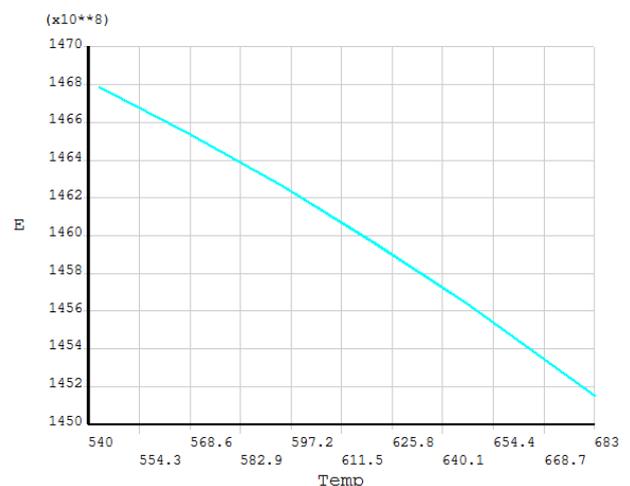


Рис. 2. Зависимость модуля упругости от температуры

Четвертым этапом необходимо сменить тип элемента на Solid186, чтобы определить напряженно-деформированное состояние рассматриваемой трубы.

Это можно сделать при помощи команды *ETCHG,ts*. Новые элементы имеют те же размеры, форму и координаты узловых точек, что и предыдущего типа. Решать задачу будем временными шагами от начального момента вре-

мени t_0 до момента разрушения, определяемому по достижению параметра поврежденности Π предельного значения в какой-либо точке конструкции [2]. На каждом временном шаге решается структурная задача с соответствующим набором характеристик материала, которые берутся из созданных ранее массивов. Промежуточные результаты также сохраняются в соответствующие массивы.

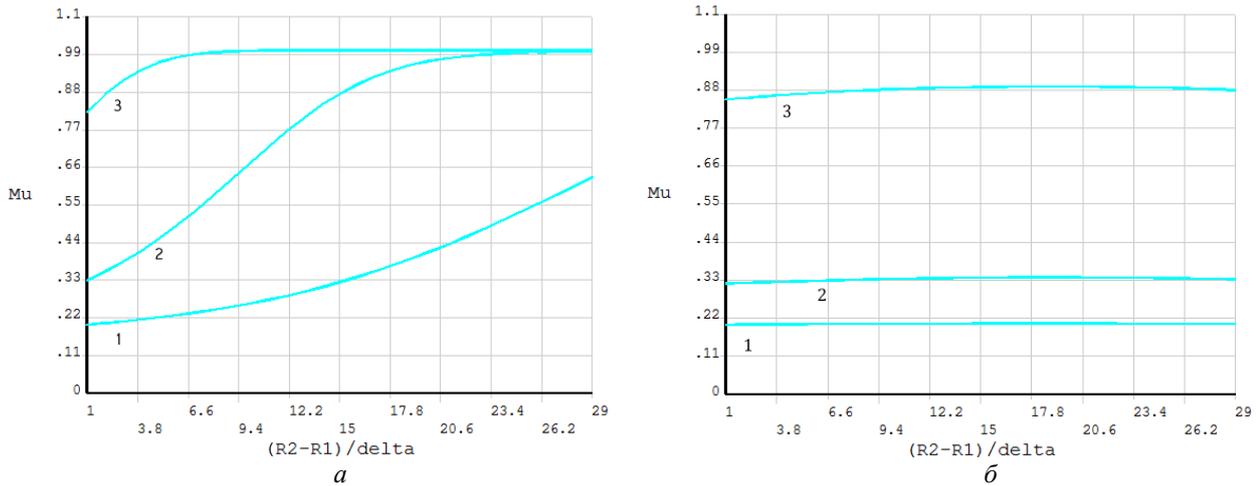


Рис. 3. Фронт обезуглероживания в зоне локального прогрева (а) и в «холодной» зоне (б) в различные моменты времени: 1 – 50 ч; 2 – 200 ч; 3 – 802 ч

Рис. 3. иллюстрирует движение фронта обезуглероживания по толщине стенки трубы в зоне локального прогрева (а) и в «холодной» зоне (б). Хорошо видно, что в области повышенных температур обезуглероживанию подвергается большая часть сечения. Это приводит

к снижению напряжений в обезуглероженной зоне и повышению их в граничной необезуглероженной. Параметр поврежденности достигает своего предельного значения на внутренней поверхности трубы напротив зоны локального прогрева.

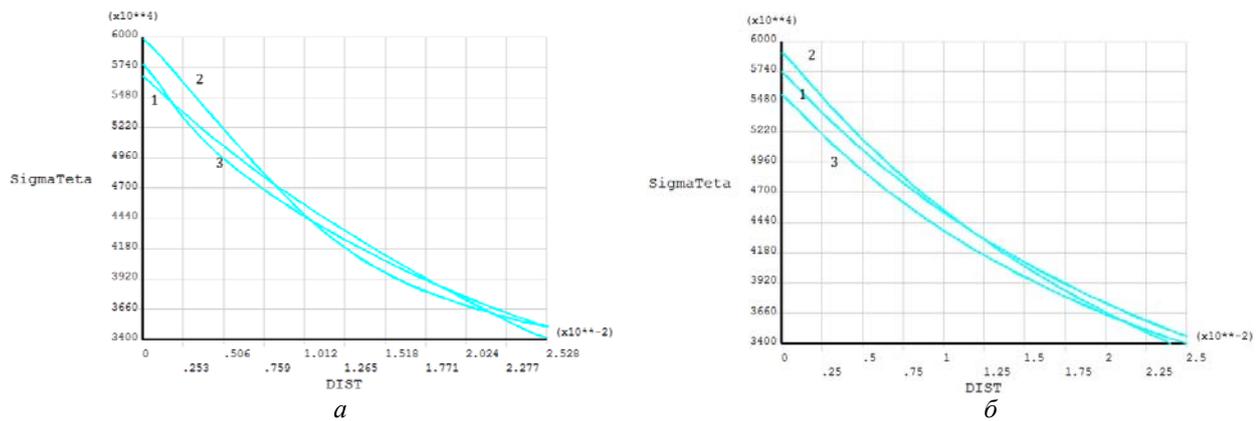


Рис. 4. Распределение окружных напряжений по сечению рассматриваемой трубы в зоне локального прогрева (а) и в «холодной» области (б): 1 – 50 ч; 2 – 200 ч; 3 – 802 ч

Окружные напряжения (рис. 4) претерпевают неравномерное по сечению перераспределение в локальной зоне (а). В «холодной» об-

ласти наблюдается более равномерное по сечению трубы изменение напряжений (б). Это объясняется тем, что перепад температур в этой

области на внутренней и наружной поверхностях трубы не такой большой, как в зоне локального прогрева.

Анализ результатов моделирования показывает, что разрушение рассматриваемой толстостенной трубы наступает через 802 ч. К этому моменту времени сечение в области повышенных температур обезуглеродилось почти полностью.

УДК 532.5

А. Б. Голованчиков, В. А. Балашов, Н. А. Меренцов

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПАДЕНИЯ СФЕРИЧЕСКОЙ КАПЛИ В ПОЛЕ СИЛ ТЯЖЕСТИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: pahp@vstu.ru, steeple@mail.ru

В работе рассматривается нестационарное осаждение капли в поле сил тяжести в широком диапазоне чисел Рейнольдса. Исследуются гидродинамические особенности движения капли при смене режимов осаждения.

Ключевые слова: капля, осаждение, режим, нестационарный, число Рейнольдса.

A. B. Golovanchikov, V. A. Balashov, N. A. Merentsov

TRANSIENT FALLING MODELING OF SPHERICAL DROP IN THE FIELD OF GRAVITY

Volgograd State Technical University

In this article the transient sedimentation of the drop in the gravitational field in a wide range of Reynolds numbers is described. The hydrodynamic features of the drop motion during different sedimentation modes are explored.

Keywords: a drop, sedimentation, mode, transient, Reynolds number.

Рассматривается процесс падения капли жидкости в поле сил тяжести при начальных условиях:

$$\tau = 0, v = 0, z = 0. \quad (1)$$

Дифференциальное уравнение баланса сил, или уравнение движения для рассматриваемой внешней задачи гидродинамики, имеет вид:

$$\rho \frac{\pi d^3}{6} \frac{dv}{d\tau} + \xi \frac{\rho_C v^2}{2} \frac{\pi d^2}{4} = \rho g \frac{\pi d^3}{6}, \quad (2)$$

где ρ и ρ_C – соответственно плотность жидкости и плотность среды; d – диаметр капли жидкости; τ – время процесса; v – скорость падения капли; g – ускорение свободного падения; ξ – коэффициент гидравлического сопротивления среды; z – вертикальная координата, направленная в сторону падения капли.

Величина коэффициента сопротивления среды зависит от режима осаждения капли и определяется для ламинарного, переходного и турбулентного режимов соответственно как [1]– [4]:

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Courant, R. Variable methods for the solution of problems of equilibrium and vibration, Bull. Amer Math. Soc., vol. 49, № 1, 1943.
2. Овчинников, И. Г. Работоспособность конструкций в условиях высокотемпературной водородной коррозии / И. Г. Овчинников, Т. А. Хвалько. – Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т. – 176 с.
3. Арчаков, Ю. И. Водородная коррозия стали / Ю. И. Арчаков – М.: Металлургия, 1985. – 192 с.
4. ANSYS Theory Reference. ANSYS Release 11.0 Documentation Inc., 2007.

$$\xi = \frac{24}{Re} \text{ при } Re < 2, \quad (3)$$

$$\xi = \frac{18.5}{Re^{0.6}} \text{ при } 2 < Re < 500, \quad (4)$$

$$\xi = 0.44 \text{ при } Re > 500, \quad (5)$$

где $Re = \frac{vd\rho_C}{\mu}$ – число Рейнольдса; μ – динамическая вязкость среды.

При начальных условиях (1), в зависимости от высоты падения капли, ее осаждение будет происходить при последовательной смене ламинарного, переходного и турбулентного режимов движения. Обозначим продолжительность осаждения капли в этих режимах, соответственно, как τ_n, τ_n и τ_T , а путь, пройденный каплей за эти промежутки времени, как h_n, h_n и h_T . Рассмотрим решение уравнения (2) для этих промежутков времени.

Для ламинарного режима осаждения, решая уравнение (2) совместно с условием (3), полу-

чаем формулу для определения скорости осаждения v_i в момент времени $0 < \tau_i \leq \tau_{л.с}$:

$$v_i = v_{л.с} \left[1 - \exp\left(-\frac{g\tau_i}{v_{л.с}}\right) \right], \quad (6)$$

где $\tau_{л.с}$ – время движения капли при ламинарном режиме осаждения; $v_{л.с} = \frac{gd^2\rho}{18\mu}$ – скорость стационарного ламинарного режима осаждения, которая теоретически достигается при $\tau \rightarrow \infty$.

Временем наступления стационарного ламинарного режима осаждения будем считать время достижения скорости, составляющей порядка 99 % от скорости $v_{л.с}$, и тогда, на основании зависимости (6) получаем:

$$\tau_{л.с} = -\ln(0.01) \frac{v_{л.с}}{g}. \quad (7)$$

Так как $v_i = \frac{dz}{d\tau}$, то подставив в это выражение значение скорости (6) и проинтегрировав полученное дифференциальное уравнение, позволяющее определить высоту падения капли в момент времени τ_i как

$$z_i = v_{л.с} \left(\tau_i - \frac{v_{л.с}}{g} \left[1 - \exp\left(-\frac{g\tau_i}{v_{л.с}}\right) \right] \right), \quad (8)$$

из которой при $\tau_i = \tau_{л.с}$ можно определить высоту падения капли, при которой достигается стационарный режим ее движения при ламинарном режиме осаждения:

$$h_{л.с} = v_{л.с} \left(\tau_{л.с} - \frac{v_{л.с}}{g} \left[1 - \exp\left(-\frac{g\tau_{л.с}}{v_{л.с}}\right) \right] \right). \quad (9)$$

Для капли, стационарный режим осаждения которой подчиняется условию переходной области $2 \leq Re \leq 500$, сначала до $Re = 2$ осаждение проходит в ламинарном режиме. Предельная скорость ламинарного осаждения $v_{л}$ может быть определена из условия:

$$v_{л} = 2 \frac{\mu}{d\rho_c}. \quad (10)$$

Подставив значение скорости (10) в уравнение (6), получим время достижения этой скорости:

$$\tau_{л} = -\ln\left(1 - \frac{v_{л}}{v_{л.с}}\right) \cdot \frac{v_{л.с}}{g} \quad (11)$$

и тогда соответствующая этому моменту высота падения капли, на основании уравнения (8), определится как

$$h_{л} = v_{л.с} \left(\tau_{л} - \frac{v_{л.с}}{g} \left[1 - \exp\left(-\frac{g\tau_{л}}{v_{л.с}}\right) \right] \right). \quad (12)$$

Скорость осаждения капли жидкости для переходного режима в момент времени $\tau_{л} < \tau_i < \tau_{н.с}$, где $\tau_{н.с}$ – время достижения стационарного движения капли при ее осаждении в переходном режиме, определится путем численного решения уравнения (2) при значении коэффициента сопротивления, определяемого зависимостью (4). Возможный диапазон изменения скорости осаждения капли в переходном режиме находится в пределах ее значений от величины $v_{л}$ до скорости установившегося движения в момент времени $\tau_{н.с}$, которая может быть определена из решения уравнения (2) без первого слагаемого и представлена в виде зависимости:

$$v_{н.с} = \left[0.072gd \left(\frac{\rho}{\rho_c} \right) \left(\frac{d\rho_c}{\mu} \right)^{0.6} \right]^{0.714}. \quad (13)$$

Для численного решения уравнения (2) разбиваем весь диапазон изменения скорости осаждения капли на « n » равных интервалов:

$$\Delta v = (v_{н.с} - v_{л})/n. \quad (14)$$

Для i -го интервала скорость осаждения, число Рейнольдса, длительность интервала по времени, время осаждения и путь, пройденный каплей за это время, определяются формулами системы:

$$\left. \begin{aligned} v_i &= v_{л} + i \cdot \Delta v \\ Re_i &= v_i d \rho_c / \mu \\ \Delta \tau &= \Delta v / \left[g - (13.875/Re_i^{0.6}) (\rho_c / \rho) v_i / d \right] \\ \tau_i &= \tau_{л} + \sum_{i=1}^{i-1} \Delta \tau_i \\ z_i &= h_{л} + \sum_{i=1}^{i-1} v_i \Delta \tau_i \end{aligned} \right\}. \quad (15)$$

Для капли, число Рейнольдса которой в стационарном режиме осаждения $Re > 500$, ламинарный режим имеет место до $Re \leq 2$ и рассчитывается по формулам (10)–(12), затем до $Re \leq 500$ в переходном режиме и рассчитывается по формулам (13) и (15), а далее – по нижеприведенному алгоритму:

– по формуле (2) с учетом условия (5) для случая $\frac{dv}{d\tau} = 0$ определяется скорость стационарного осаждения в турбулентном режиме:

$$v_{т.с} = \sqrt{3gd\rho/\rho_c}; \quad (16)$$

– интегрирование уравнения (2) приводит к формуле для расчета времени достижения 99 % скорости турбулентного осаждения:

$$\tau_T = \ln \left[\frac{(a + 0.99bv_T)/(a - 0.99bv_T)}{(a + 0.99bv_n)/(a - 0.99bv_n)} \right] / 2ab, \quad (17)$$

где $a = \sqrt{g}$; $b = \sqrt{\rho_c / (3\rho d)}$;

– разбивается время выхода на стационарный режим на n равных интервалов $\Delta\tau$, тогда время турбулентного осаждения:

$$\tau_i = i\Delta\tau, \quad (18)$$

а время общего осаждения:

$$\tau_{Ti} = \tau_n + \tau_i. \quad (19)$$

Скорость турбулентного осаждения:

$$v_{Ti} = v_n + v_T \frac{\exp(2ab\tau_i - 1)}{\exp(2ab\tau_i + 1)} \quad (20)$$

и координата высоты общего осаждения:

$$z_i = h_n + v_{Ti}\Delta\tau \quad (21)$$

– для $i = n$ получаем расчетные значения времени τ_T , скорости v_T и высоты h_T , которые

соответствуют выходу на стационарный режим осаждения.

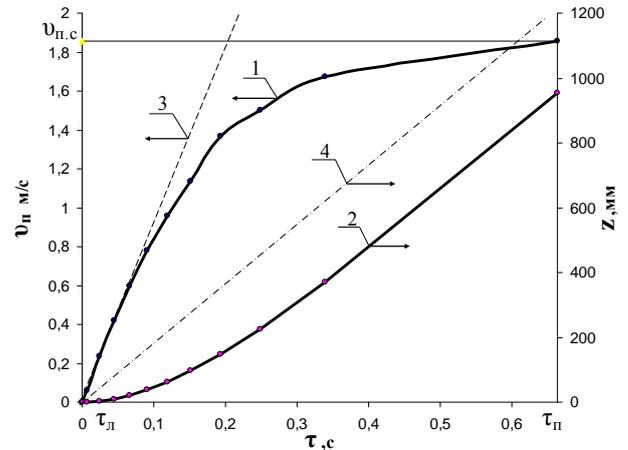


Рис. 2. Зависимости скорости (1) и высоты осаждения капли (2) диаметром $d = 5 \cdot 10^{-4}$ м для ламинарного и переходного режимов движения; пунктирной линией (3) показан график скорости свободного осаждения капли в поле сил тяжести; (4) – график высоты стационарного процесса осаждения

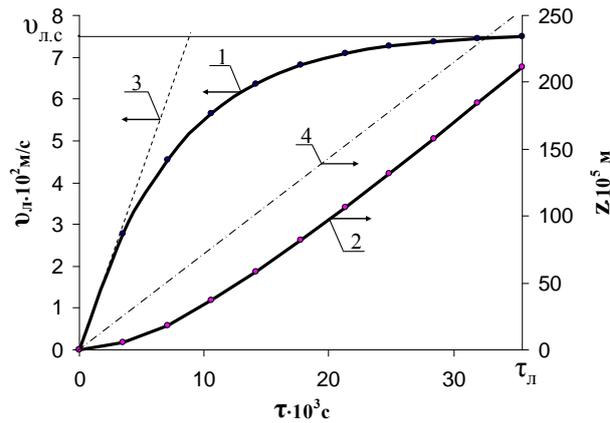


Рис. 1. Зависимости скорости (1) и высоты осаждения капли (2) диаметром $d = 5 \cdot 10^{-5}$ м для ламинарного режима движения $Re = 0,253$; пунктирной линией (3) показан график скорости свободного осаждения капли в поле сил тяжести; (4) – график высоты стационарного процесса осаждения

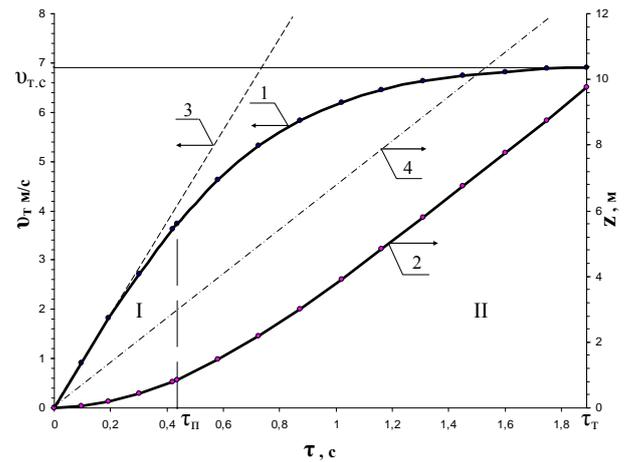


Рис. 3. Зависимости скорости (1) и высоты осаждения капли (2) диаметром $d = 2 \cdot 10^{-3}$ м для ламинарного, переходного и турбулентного режимов движения; пунктирной линией (3) показан график скорости свободного осаждения капли в поле сил тяжести; (4) – график высоты стационарного процесса осаждения

Таблица 1

Ламинарный режим осаждения для частицы $d = 5 \cdot 10^{-5}$ м

$\tau_n \cdot 10^3$	3,52	7,07	10,6	14,18	17,73	21,3	24,83	28,39	31,94	35,5
$v_n \cdot 10^2$	2,77	4,54	5,66	6,36	6,81	7,09	7,267	7,378	7,449	7,493
$h_n \cdot 10^5$	5,24	18,5	36,8	58,3	81,8	106,5	132,0	158,1	184,5	211,0

Таблица 2

Ламинарный режим осаждения для частицы $d = 5 \cdot 10^{-4}$ м

$\tau_n \cdot 10^3, \text{ с}$	0,605	1,21	1,83	2,43	3,05	3,66	4,27	4,88	5,49	6,1
$v_n \cdot 10^2, \text{ м/с}$	0,593	1,19	1,79	2,38	2,98	3,58	4,18	4,77	5,37	5,96
$h_n, \text{ мк}$	1,78	7,32	16,3	29,2	45,5	65,7	89,4	116,5	147,5	182,2

Таблица 3

Переходный режим осаждения для частицы $d = 5 \cdot 10^{-4}$ м

$\tau_n \cdot 10^2 \text{ с, с}$	0,61	2,5	4,51	6,69	9,12	11,9	15,2	19,3	24,9	34,0	66,4
$v_n \cdot 10^1, \text{ м/с}$	0,596	2,39	4,19	5,98	7,78	9,57	11,37	13,7	15,0	16,76	18,55
$h_n, \text{ мм}$	0,182	3,02	9,64	20,8	37,6	61,8	96,4	147	226	371	954

Таблица 4

Ламинарный режим осаждения для частицы $d = 2 \cdot 10^{-3}$ м

$\tau_n \cdot 10^4, \text{ с}$	1,37	2,89	4,41	5,93	7,45	8,97	10,4	12,0	13,5	15,0
$v_n \cdot 10^3, \text{ м/с}$	1,34	2,84	4,32	5,81	7,31	8,8	10,2	11,2	11,3	11,48
$h_n \cdot 10^7, \text{ м}$	1,02	4,31	9,87	17,7	27,8	40,2	54,8	71,7	90,9	112,0

Таблица 5

Переходный режим осаждения для частицы $d = 2 \cdot 10^{-3}$ м

$\tau_n \cdot 10^2 \text{ с}$	9,52	19,4	30,2	42,1	43,6
$v_n, \text{ м/с}$	0,917	1,82	2,72	3,63	3,73
$h_n, \text{ см}$	4,4	18,0	42,5	80,6	85,9

Таблица 6

Турбулентный режим осаждения для частицы $d = 2 \cdot 10^{-3}$ м

$\tau_T, \text{ с}$	0,58	0,726	0,872	1,02	1,16	1,31	1,45	1,6	1,75	1,89
$v_T, \text{ м/с}$	4,63	5,33	5,84	6,2	6,45	6,63	6,75	6,82	6,88	6,91
$h_T, \text{ м}$	1,47	2,2	3,02	3,9	4,83	5,79	6,76	7,75	8,76	9,76

На рис. 1, 2 и 3 представлены графики осаждения капель воды в воздухе при $t = 20$ °С, для капель диаметром $d = 5 \cdot 10^{-5}$ м ($Re < 2$, Стоксовский режим осаждения); $d = 5 \cdot 10^{-4}$ м ($2 < Re < 500$, Стоксовский и переходный режимы осаждения); $d = 2 \cdot 10^{-3}$ м ($Re > 500$, Стоксовский, переходный и турбулентный режимы осаждения), а в таблицах – значения времени, скорости и высоты осаждения, рассчитанные для этих капель на основании полученных формул и предложенной методики расчета движения капель в поочередно сменяющихся режимах осаждения.

Как видно из этих данных и материалов таблицы, время выхода на стационарный режим (99 % от скорости стационарного осаждения) для капель $Ar < 36, Re < 2$ не превышает 0,1 с, а высота нестационарного осаждения 3 мм, то есть в большинстве расчетах этими параметрами можно пренебречь и сразу проводить расчеты по формулам стационарного осаждения.

Для капель с переходным режимом осаждения $2 < Re < 500$ разгоном в ламинарной области можно пренебречь; он составляет по времени менее 1 % от общего времени выхода на стационарный режим, но само время нестационарного

нарного движения в переходном режиме может достичь 1 с, а высота осаждения – 1 м (что необходимо учитывать при технологических расчетах).

Особенно наглядно влияние нестационарного переходного осаждения, занимающего до 20 % от общего времени нестационарного осаждения, на общий процесс нестационарного осаждения видно из графиков на рис. 3 (зона I).

Таким образом, в макропроцессах нестационарный ламинарный режим осаждения (до $Re \leq 2$) не является лимитирующей стадией по времени, скорости и высоте осаждения. Нестационарное осаждение в переходном режиме, наоборот, оказывает существенное влияние на общее время, скорость и высоту выхода на стационарный режим. Это объясняется тем, что диапазон режима переходного процесса осаждения $2 \leq Re \leq 500$ в 250 раз больше ламинарного процесса нестационарного осаждения.

УДК 623.618 623.4.11

М. Р. Королев, В. И. Лобейко, А. В. Старусев

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Астраханский государственный университет

E-mail: starusev-av@yandex.ru

В статье предлагается метод оценки адекватности математических моделей, входящих в состав моделирующей установки, в зависимости от условий испытаний, разработанных с учетом основных положений, вытекающих из условий «структурно-функционального» подобия.

Ключевые слова: эффективность, моделирующая установка, математическое моделирование.

M. R. Korolev, V. I. Lobeyko A. V. Starusev

ESTIMATION OF ADEQUACY OF COMPLEX MODEL OF DIFFICULT TECHNICAL SYSTEM

The Astrakhan State University

In article the valuation method of adequacy of the mathematical models which are a part of modeling setting, depending on the test specifications developed with the registration of substantive provisions, following of conditions of «structurally functional» similarity is offered.

Keywords: the efficiency, modeling setting, mathematical modeling.

Постановка задачи

В процессе разработки математических моделей, входящих в состав моделирующей установки, приходится вводить ряд условностей, упрощений и ограничений. Поэтому требуется оценить, как они сказываются на точности воспроизведения комплексной моделью реального процесса и тем самым определить пригодность моделирующей установки для оценки эффективности исследуемой АСУ. Иными словами, необходимо определить ошибки моделирова-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романков, П. Г. Гидромеханические процессы химической технологии / П. Г. Романков, М. И. Курочкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1974. – 288 с. – С. 110, 119, 121.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского. – 4-е изд., стер. – М. : Альянс, 2008. – 494 с.
3. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учеб. для вузов / А. Г. Касаткин. – 14-е изд., стер. – М. : Альянс, 2008. – 750 с.
4. Голованчиков, А. Б. Вероятность улавливания частиц в напорном гидроциклоне / А. Б. Голованчиков, Г. И. Первакова, И. С. Бацокин // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 3(76) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 10). – С. 5–9.
5. Двайт, Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г. Б. Двайт ; пер. с англ. Н. В. Леви ; под ред. К. А. Семендяева. – 3-е изд. – М. : Наука, 1969. – С. 33.

ния, которые зависят, в основном, от следующих причин:

- неточности задания исходных данных $\sigma_{ИД}$;
- упрощения моделей (методические ошибки σ_M);
- ограниченного числа реализаций (ошибки статистической оценки результатов $\sigma_{СТ}$).

Таким образом, средняя квадратическая суммарная ошибка при определении показателя эффективности при независимости указанных групп ошибок может быть определена формулой

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{ид}^2 + \sigma_M^2 + \sigma_{см}^2}. \quad (1)$$

Общеизвестно, что точно оценить ошибки результата, полученного на модели, весьма сложно [1]. Вместе с тем при оценке показателей эффективности по результатам моделирования априорно пренебрегать $\sigma_{ид}$ и σ_M нельзя, так как эти составляющие σ_{Σ} могут оказаться весомыми, а в ряде случаев именно они ее и определяют. Поэтому предлагается следующий порядок:

во-первых, по возможности, точнее определить и задавать исходные данные для построения математических моделей, пользуясь при этом изложенным ниже методом оценки $\sigma_{ид}$;

во-вторых, оценить приемлемость σ_M , допускаемых при испытании моделирующей установки;

в-третьих, при выполнении первых двух условий оценивается статистическая погрешность результатов с использованием математических моделей.

Ошибки неточностей задания исходных данных $\sigma_{ид}$ оцениваются на этапе отладки математических моделей по их чувствительности к изменениям соответствующих параметров. При этом оценка производится в два этапа:

1) оценка в процессе моделирования выходных характеристик моделей при заданных значениях их параметров и внешних воздействий;

2) оценка при моделировании отклонений выходных характеристик, вызванных изменениями параметров моделей.

Такой подход позволяет соразмерить σ_M с $\sigma_{ид}$ путем трансформации неточностей задания исходных данных в изменения выходных показателей моделей

$$R_j(\psi), \psi = 1, \bar{n},$$

$$\frac{dR_j(\psi)}{d\psi_{\varphi}} \approx \frac{\Delta R_j(\psi)}{\Delta \psi_{\varphi}} = \frac{1}{\Delta \psi_{\varphi}} \left\{ R_j(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{\varphi-1}, \psi_{\varphi} + \Delta \psi_{\varphi}, \psi_{\varphi+1}, \dots, \psi_n) - R_j(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{\varphi-1}, \psi_{\varphi}, \psi_{\varphi+1}, \dots, \psi_n) \right\},$$

$$\frac{d^2 R_j(\psi)}{d\psi_{\varphi} d\psi_{\theta}} \approx \frac{\Delta^2 R(\psi)}{\Delta \psi_{\varphi} \Delta \psi_{\theta}} = \frac{1}{\Delta \psi_{\varphi} \Delta \psi_{\theta}} \left\{ R_j\left(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{\varphi} + \frac{\Delta \psi_{\varphi}}{2}, \psi_{\varphi+1}, \psi_{\theta} + \frac{\Delta \psi_{\theta}}{2}, \dots, \psi_n\right) - R_j\left(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{\varphi} - \frac{\Delta \psi_{\varphi}}{2}, \psi_{\varphi+1}, \dots, \psi_{\theta} + \frac{\Delta \psi_{\theta}}{2}, \dots, \psi_n\right) - R_j\left(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{\varphi} + \frac{\Delta \psi_{\varphi}}{2}, \psi_{\varphi+1}, \dots, \psi_{\theta} - \frac{\Delta \psi_{\theta}}{2}, \dots, \psi_n\right) + R_j\left(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{\varphi} - \frac{\Delta \psi_{\varphi}}{2}, \psi_{\varphi+1}, \dots, \psi_{\theta} - \frac{\Delta \psi_{\theta}}{2}, \dots, \psi_n\right) \right\}.$$

где n – число изменяемых параметров модели; $j=1, \bar{m}$; m – число выходных показателей модели.

Метод решения

Обозначим $\Delta \Psi = \|\Delta \Psi_1, \Delta \Psi_2, \dots, \Delta \Psi_m\|^T$ – возможные отклонения параметров модели от истинных значений $\Psi = \|\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n\|^T$.

Определим приращение j -го выходного показателя (ΔR_j), обусловленное отклонением параметров модели ($\Delta \Psi$). Для этого разложим функцию $R_j(\psi)$ в ряд Тейлора. Изменения $R_j(\psi)$, соответствующие малым отклонениям $\Delta \Psi$, равны

$$\Delta R_j(\Delta \Psi) = R_j'(\psi) \Delta \Psi + \frac{1}{2} \Delta \Psi^T R_j''(\psi) \Delta \Psi + C,$$

где $R_j'(\psi)$ – градиент показателя $R_j(\psi)$, определяемый по формуле:

$$R_j'(\psi) = \left\| \frac{dR_j(\psi)}{d\psi_1}, \dots, \frac{dR_j(\psi)}{d\psi_n} \right\|^T; \quad (2)$$

$R_j''(\psi)$ – матрица, составленная из вторых производных:

$$\frac{d^2 R_j(\psi)}{d\psi_{\varphi} d\psi_{\theta}}, \quad \psi, \theta = 1, \bar{n}; \quad (3)$$

C – остаточный член третьего (или выше) порядка малости относительно вариации $\Delta \Psi$.

Производные $R_j'(\psi)$ и $R_j''(\psi)$ определяются в точке $\psi_{ном}$, соответствующей номинальным значениям параметров. Поскольку показатель $R_j(\psi)$ получается в результате моделирования, то аналитический расчет производных в (2) и (3) затруднителен и вместо них используются разностные аналоги:

Очевидно, частные производные в (2) и (3) количественно характеризуют (если они конечные) чувствительность модели к изменениям соответствующих параметров.

Случай несоразмерно большего отклонения показателя при малых вариациях $\Delta\psi$ свидетельствует о неустойчивости модели к этим вариациям или допущенных некорректностях при ее разработке.

Задача о выборе точек ψ_θ , $\theta = 1, \bar{n}$ решается методом планирования эксперимента [2].

В случае независимости дисперсии погрешности оценки $R_j(\psi)$ от ψ моделирование выполняется лишь на границах области допустимых значений ψ .

Методические ошибки σ_M , связанные с неадекватностью моделей реальным объектам (упрощение или искажение моделируемых подпроцессов, неучет некоторых факторов и т. п.), определяются по оценке адекватности разработанных моделей.

При этом строгие методы учета этой составляющей суммарной ошибки моделирования не предусматриваются из-за сложности расчета влияния каждого вводимого ограничения на результат, а оценивается приемлемость допущенных методических ошибок для решаемых моделями задач.

Отсутствие универсальной схемы моделирующего алгоритма для агрегативных систем не позволяет разработать единый подход к оценке адекватности моделей агрегатов своим оригиналам (множество подходов к моделированию объясняется наличием многообразия частных подходов к оценке адекватности моделей).

При разработке принципов оценки адекватности комплексной модели учитывались основные положения, вытекающие из условий структурно-функционального подобия:

1) сравниваемые по тождественности структуры системы разъединяются на ряд основных элементов. Это позволяет производить функционально оценку каждой модели как в отдельности, так и в составе моделирующей установки;

2) при оценке модели каждого элемента процесс функционирования (модели и оригинала) разбивается на составные его подпроцессы, для каждого из которых выбирается соответствующий критерий оценки;

3) задача оценки «близости» результатов функционирования модели и ее оригинала представляется как статистическая задача оценки однородности двух выборок одномерных

случайных величин, полученных в одинаковых условиях двумя различными методами;

4) в случае если при оценке адекватности будет выявлено несоответствие моделей своим оригиналам, то по результатам экспериментов с использованием реальных объектов и экспериментов с использованием математических моделей, получаемых в одних и тех же условиях, производится параметрическая доработка моделей с целью уменьшения имеющегося несоответствия. При сохранении несоответствия после параметрической перестройки моделей производится их структурная доработка. Если и это мероприятие не дает нужного результата, то выполняется дополнительная доработка моделей, которая заключается в введении оператора в модель для компенсации имеющегося несоответствия.

С учетом вышеизложенных положений оценка адекватности математических моделей производится поэтапно:

а) этап «автономной» оценки функционального подобия моделей;

б) этап «комплексной» оценки моделей (в составе моделирующей установки).

При «автономной» оценке моделей процесс функционирования разделяется на составляющие его подпроцессы, для каждого из которых выбираются критерии оценки.

Так при «автономной» оценке модель одного из элементов АСУ оценивалась по этапам ее работы путем сравнения выборок моделируемых и реальных значений оцениваемых параметров.

В случае принадлежности выборок к одной и той же тождественности законов распределения модель считается адекватной реальному объекту.

В литературе по математической статистике приводятся различные критерии проверки однородности выборок. Общий подход к оценке «значимости» расхождений заключается в выборе достаточно малой вероятности того, что при условии однородности выборок фактическое значение расхождения между характеристиками сравниваемых выборок превысит соответствующее критическое значение.

На практике задаются различные уровни «значимости» [3]. При этом «незначимыми» считаются те расхождения, которые не превосходят 5 %-й предел.

Для оценки расхождений результатов натурных экспериментов и результатов экспериментов, полученных с использованием математических моделей, на этапе «комплексной» оценки используется один из наиболее часто

применимых критериев согласия – так называемый «критерий X^2 для сравнения вероятностей» [3], который считается наряду с критерием Вилкоксона наилучшим критерием согласия в случае наличия малых выборок:

$$X^2 = \frac{(v_1 n - v_2 m)(m + n - 1)}{mn(v_1 + v_2)(q_1 + q_2)}, \quad (4)$$

где m , n – количество экспериментов соответственно натуральных и с использованием математических моделей; v_1 , v_2 – количество положительных исходов соответственно натуральных и с использованием математических моделей экспериментов; q_1 , q_2 – количество отрицательных исходов соответственно натуральных и с использованием математических моделей экспериментов.

Подставив вместо буквенных обозначений входящих в формулу (4) величин их числовое значение, получаем $X^2 = 1,107$.

Зная X^2 и число степеней свободы

$$\psi = 1(\psi = R - \eta - S),$$

где R – число регистрируемых событий; η – число линейных уравнений, связывающих регистрируемые события; S – число оцениваемых параметров.

По соответствующей таблице [4] определяем, что имеющее место расхождение является «незначительным», поскольку не превосходит 5 %-й предел.

Выводы

1. Предложенный метод оценки адекватности математических моделей, входящих в состав моделирующей установки, в зависимости от усло-

вий испытаний, разработанных с учетом основных положений, вытекающих из условий «структурно-функционального» подобия (важность разработки такого подхода объясняется отсутствием в наше время единого подхода к оценке адекватности моделей агрегатов сложных систем), свидетельствует о том, что модели оцениваются как в «автономе», так и в «комплексе» (в составе всей моделирующей установки).

2. Автономная оценка функционального подобия моделей своим оригиналам является основным этапом оцениваемых работ (проведение ее позволяет значительно сократить время отладки всей моделирующей установки).

3. При автономной оценке моделей процесс функционирования разделяется на составляющие его подпроцессы, для каждого из которых выбираются критерии оценки. По их значению и устанавливается адекватность модели в части отработки того или иного подпроцесса.

4. При комплексной оценке моделей определяется близость результатов натуральных испытаний и испытаний с использованием математических моделей, что позволяет определить адекватность всех моделей, входящих в состав моделирующей установки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кринецкий, Е. И. Летные испытания систем управления летательными аппаратами / Е. И. Кринецкий, Л. Н. Александровская. – М.: Машиностроение, 1975. – 197 с.: ил.
2. Налимов, В. В. Статистические методы планирования экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.: ил.
3. Ван Дер Вандер, Б. Л. Математическая статистика / Б. Л. Ван Дер Вандер. – М.: ИЛ, 1960 г. – 434 с.

УДК 004.93

А. И. Крыжановский, Д. И. Крыжановский, И. Ю. Никляев, П. С. Пыхтин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОМЕРА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: anatoly.kryzhanovsky@gmail.com, dmitry.kryzhanovsky@acm.org,

spirit.of.fire@mail.ru, mainbeliar@gmail.com

Настоящая работа посвящена адаптации алгоритма, основанного на преобразовании Хафа, к построению карты окружения мобильными роботами. Рассмотрены вопросы настройки параметров алгоритма и особенности его реализации.

Ключевые слова: построение карты, преобразование Хафа, мобильные роботы.

A. I. Kryzhanovskiy, D. I. Kryzhanovskiy, I. Y. Niklyayev, P. S. Pykhtin

ON ADJUSTING THE PARAMETERS OF HOUGH TRANSFORM FOR MAP BUILDING ON RANGE FINDER MEASUREMENTS

Volgograd State Technical University

The present paper is devoted to adopting the Hough transform based algorithm for environment map building by mobile robots. The topics on the algorithm parameters adjust and its implementation are discussed.

Keywords: map building, Hough transform, mobile robots.

Введение

Автоматизированное построение карты обнаружения, осуществляемое роботами для дальнейшего планирования движений, подразумевает решение ряда базовых задач, одной из которых является выделение прямых линий на изображениях¹, получаемых с сенсоров.

Среди алгоритмов, применяемых для выявления прямых линий на изображении, наибольшую известность получил алгоритм, основанный на преобразовании Хафа: в случае удачной подборки параметров преобразования алгоритм позволяет быстро получить нужный результат, что немаловажно в условиях работы в режиме реального времени [4; 9]. Преобразование Хафа давно и подробно описано в литературе [3], но его использование для решения конкретной задачи требует предварительного исследования, целью которого является подборка параметров преобразования, обеспечивающих требуемое качество идентификации линий на изображении. Прежде всего, речь идет о шаге дискретизации шкалы расстояний R при заполнении сетки пространства Хафа: шаг должен быть, с одной стороны, не слишком крупным, чтобы обеспечить удовлетворительную точность решения, а с другой стороны, и не слишком мелким – иначе объем вычислений будет очень большим. Второй вопрос, который остается открытым, это процедура определения выделяющихся значений в пространстве Хафа, сигнализирующих о том, что на исходном изображении имеется прямая с соответствующими параметрами. И наконец, важно определить, при каких условиях преобразование Хафа вообще будет корректно работать, учитывая, что данные с реальных сенсоров всегда приходят зашумлённые и содержат ошибки.

Таким образом, задачей настоящего исследования была поставлена разработка процедуры выявления прямых линий на основе преобразования Хафа по данным, снятым с дальномера, с рекомендациями по выбору шага дискретизации шкалы расстояний R и определению выделяющихся значений в сетке пространства Хафа.

1. Выявление выделяющихся значений в таблице пространства Хафа

Для выявления в таблице пространства Хафа выделяющихся значений воспользуемся ме-

¹ В данной статье под изображением мы будем понимать не только визуальную фотографию в оптическом диапазоне, а вообще любую информацию о пространственном окружении робота, полученную с его датчиков (например, карту распределения расстояний до объектов, построенную с помощью дальномера).

тодами, применяемыми в математической статистике для обнаружения аномальных величин в выборках экспериментальных данных. В частности, рассматривались следующие два метода: процедура выявления и отсева аномальных значений, основанная на t -критерии Стьюдента [1], и процедура выявления и отсева аномальных значений для стандартизированных выборок [7]. Другие методы обработки аномальных значений, описанные в литературе, как правило, носят специализированный характер.

Процедура, основанная на t -критерии Стьюдента, состоит в следующем. В имеющейся выборке данных берется элемент x , обладающий наибольшим отклонением относительно среднего выборочного значения \bar{x} (очевидно, что это будет либо максимальный, либо минимальный элемент). Для него рассчитывается относительное отклонение

$$d = |x - \bar{x}| / \bar{S}, \quad (1)$$

которое сравнивается с критическим значением

$$\tau_{(p;N)} = \frac{t_{(p;N-2)} \sqrt{N-1}}{\sqrt{N-2 + t_{(p;N-2)}^2}}, \quad (2)$$

где $t_{(p;N-2)}$ – квантиль распределения Стьюдента порядка p с $N-2$ степенями свободы; p – доверительная вероятность, с которой мы хотим проверить истинность статистической гипотезы; N – размер выборки. Если $d > \tau_{(p;N)}$, то данный элемент считается аномальным значением и удаляется из выборки, после чего процедура повторяется заново для обновленной выборки – и так до тех пор, пока в ней не останутся значения, для которых $d \leq \tau_{(p;N)}$. К недостаткам этого метода относится необходимость пересчета выборочных характеристик и связанных с ними величин N , \bar{x} , \bar{S} , $t_{(p;N-2)}$ после каждого отсева.

Пересчета можно избежать, если воспользоваться методом выявления аномальных значений в стандартизированных выборках. Сначала все элементы выборки заменяются по формуле

$$z = (x - \bar{x}) / \bar{S} \quad (3)$$

(эта процедура называется Z -стандартизацией), после чего определяются такие числа Q_1 и Q_3 , что на отрезке $[\min(z); Q_1]$ содержится 25 % всех элементов Z -стандартизированной выборки, а на отрезке $[\min(z); Q_3]$ 75 %. Вычисляют величину $IQR = Q_3 - Q_1$ и все элементы, которые меньше $Q_1 - 1,5IQR$ или больше $Q_3 + 1,5IQR$, отсеивают.

Открытым остается вопрос, какой из этих методов лучше подходит для нашей задачи и, если остановиться на t -критерии Стьюдента, какую доверительную вероятность нужно брать.

2. Описание экспериментальных данных

Далее будем рассматривать робота со средней скоростью движения 0,1 м/с, оснащенного дальномером SHARP GP2Y0A02YK с периодом сканирования 35–40 мс. Поскольку сбор реальных данных с дальномера занимает значительное время, в настоящей работе, носящей предварительный характер, исходные данные были смулированы, исходя из известных характеристик дальномера.

Исходными данными служил массив точек (координаты $(x; y)$ в двумерной декартовой системе). В качестве параметров эксперимента, передаваемых в модуль обработки исходных данных, также выступали количество точек (размер массива исходных данных, связанный с частотой сканирования дальномера и временем его работы), доверительная вероятность для t -критерия Стьюдента, шаг дискретизации шкалы R и уровень шума. Параметры варьировались следующим образом:

количество точек – производились эксперименты со 100, 200, 500, 1000 точек; все точки (без учета шумов) брались расположенными на одной прямой;

доверительная вероятность – использовались значения 0,95; 0,97; 0,98; 0,99;

шаг по оси R в пространстве Хафа – использовались 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2 от минимального расстояния между точками во входном массиве (которое зависит от частоты сканирования сенсора и скорости движения робота);

шум сенсора – входные данные были получены с сенсоров с уровнем шума 1, 2, 5, 10 %.

Для каждого набора параметров было проведено по 10 экспериментов².

3. Разработка алгоритма и программная реализация

На первом шаге алгоритма над всеми элементами массива исходных координат осуществлялось преобразование Хафа, на выходе которого формировалась таблица (сетка) дискретного пространства Хафа (расстояние R по столбцам, угол θ по строкам, шаг θ в соответствии со сложившейся практикой брался равным 1°).

После построения сетки пространства Хафа необходимо было в ней определить выделяющиеся значения. В экспериментах использовались оба метода, описанные выше. Опыт показал, что лучшие результаты обеспечивает метод, основанный на t -критерии Стьюдента после двух проходов: на первом проходе определялись аномальные значения по отношению к исходной выборке, а на втором – аномальные значения по отношению к выборке аномальных значений, отсеянных на первом проходе. Второй проход потребовался, так как на первом вместе с сильно выделяющимися значениями, соответствующими искомой прямой, отсеивались также ячейки пространства Хафа, не лежащие близко к нужной нам прямой, но немного выделяющиеся на общем фоне в силу дискретной природы преобразования Хафа.

Квантили распределения Стьюдента вычислялись через уравнение

$$F^{-1}(x) = p \quad (4)$$

методом дихотомии, где p – доверительная вероятность; $F(x)$ – функция распределения Стьюдента, которая, в свою очередь, считалась следующим образом: по формуле

$$f(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi n} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \left(1 + \frac{x^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}} \quad (5)$$

определялась плотность распределения Стьюдента в точке x (n – количество степеней свободы); Γ -функция рассчитывалась с помощью аппроксимации Ланкцоса [2; 6; 8]. Затем через неполную B -функцию [8] вычислялось значение функции распределения Стьюдента.

На выходе из процедуры отсева получался набор выделяющихся своими значениями ячеек пространства Хафа, которые формировали кластеры («пятна» в графическом отображении). Методом поиска в ширину [2] локализовывались непрерывные кластеры (т. е. такие, в которых каждая ячейка стороной или вершиной соприкасалась хотя бы с одной другой ячейкой кластера). Естественно было предположить, что каждый такой кластер соответствует прямой в исходном декартовом пространстве, а его размытость (наличие «пятна» вместо одной ячейки) обусловлена дискретной природой алгоритма и зашумленностью входных данных. Необходимо было решить вопрос, как по известным параметрам ячеек кластера (координатам $(R; \theta)$ и значениям v) определить параметры искомой прямой. Сначала было предложено

² Полученная таблица экспериментальных данных доступна по адресу <https://docs.google.com/open?id=0B6XAs0bQR5poMTQ5YWFjNDAfYTYzNy00NjI5LW15MGItMWM4OWVjNWJiN2Yz>

брать в качестве (РП; θ П) искомой прямой координаты центра масс кластера (роль массы выполняли значения ячеек v):

$$(R_{\Pi}; \theta_{\Pi}) = \frac{\sum_{i=1}^m (R_i; \theta_i) v_i}{\sum_{i=1}^m v_i}, \quad (6)$$

где m – число ячеек в кластере. Однако эксперимент показал, что в этом случае, если кластер имеет сложную конфигурацию, центр масс может оказаться вне его границ, и ответ будет некорректным. В то же время, во всех экспериментах удалось получить правильные ответы, просто беря в качестве параметров прямой параметры ячейки с наибольшим значением³.

Из особенностей программной реализации также стоит отметить, что поскольку пространство Хафа при большом количестве точек и малом шаге по оси R имеет очень большую размерность и при этом оно сильно разрежено, то для его хранения вместо обычного массива имеет смысл использовать контейнер, индексированный ключом. В качестве ключа выступает пара $(R; \theta)$. Таким образом, разработанный код можно применять на реальных роботах, с малым объемом памяти.

Заключение

По результатам экспериментов можно сделать следующие выводы:

рост размера выборки исходных точек не позволяет улучшить работу алгоритма, так как

³ Даже при низком уровне шума наряду с кластером, соответствующим искомой прямой, в пространстве Хафа может присутствовать ложный кластер, который соответствует прямой, параллельной искомой и симметричной ей относительно начала координат. В этом случае истинным принимается тот из двух кластеров, у которого больше максимальное значение в ячейках.

при этом растет число ложных кластеров и увеличивается время вычислений;

оптимальный размер выборки для обработки 100–200 точек;

наиболее оптимальное значение шага для шкалы R равно 1–2 минимальным расстояниям между соседними показаниями дальномера;

выявление выделяющихся значений в пространстве Хафа лучше проводить с помощью t -критерия Стьюдента в два прохода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Львовский, Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е. Н. Львовский : учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.: ил.
2. Поиск в ширину / Алгоритмический портал «MAXimal» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://e-maxx.ru/algo/bfs>
3. Преобразование Хафа для линий / Он-лайнный учебник «Learning Open CV» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://locv.ru/wiki/6.6.1_Преобразование_Хафа_для_линий
4. Canny, J. A. Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – Vol. PAMI-8, No. 6, November, 1986. – Pp. 679–698.
5. Gamma-function / Algolist.Manual.Ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://algolist.manual.ru/maths/count_fast/gamma_function.php
6. Lanczos Approximation / Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://en.wikipedia.org/wiki/Lanczos_approximation
7. Larose, D. T. Data Mining Methods and Models. – A John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005. – 322 p.
8. Press, W. H. et al. Numeric recipes: the art of scientific computing, 3rd edition. – Cambridge University Press, 2007. – 1200 p.
9. Radon transform / Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://en.wikipedia.org/wiki/Radon_transform

УДК 621.391 (075)

В. И. Лобейко, Е. Е. Макаревич, С. В. Поляков

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПОРНЫХ ТОЧЕК
ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗОНЫ ВИДИМОСТИ РЛС КРУГОВОГО ОБЗОРА
В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ В ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

Астраханский государственный университет

E-mail: evgmakarevich@rambler.ru

Рассматривается алгоритм определения опорных точек для интерполяции функции, описывающей параметры зоны видимости в вертикальной плоскости РЛС кругового обзора.

Ключевые слова: радиолокационная система, имитационная модель, интерполирование функции.

V. I. Lobeyko, E. E. Makarevich, S. V. Polyakov

**THE METHOD FOR THE DETERMINATION OF THE REFERENCE
POINTS TO THE ZONE OF THE VISIBILITY RADAR PERIMETER
REVIEW IN THE VERTICAL PLANE IN THE SIMULATION MODEL**

Astrakhan State University

Discusses the algorithm for determining anchor points for interpolation function that describes the visibility zone settings in a vertical plane radar perimeter review.

Keywords: the radar system, simulation model, interpolation of functions.

Важнейшей составной частью автоматизированных систем управления (АСУ) и наблюдения за воздушной обстановкой, управления воздушным движением является радиолокационная система сбора и обработки информации о воздушных объектах, подлежащих контролю.

В радиолокационную систему входят измерительный радиолокационный комплекс, включающий одну или несколько РЛС; комплекс вычислительных средств обработки радиолокационной информации (РЛИ); комплекс средств передачи информации между элементами радиолокационной системы и к потребителям; средства управления, предназначенные для обеспечения согласованной работы всех элементов системы [1].

Комплекс вычислительных средств обработки РЛИ, часть средств передачи информации и средства управления, как правило, объединяют в комплекс средств автоматизации (КСА) пункта управления (ПУ) радиолокационной системой.

Для оценки показателей назначения КСА ПУ радиолокационными системами с применением опытно-теоретического метода исследований разрабатываются имитационные модели радиолокационных станций, функционирующие в реальном масштабе времени. В целях обеспечения условий реализации реального масштаба времени для таких имитационных моделей зону видимости представляют в качестве типовых геометрических фигур (цилиндр, сфера, конус и т. п.), не учитывая физических

принципов формирования реальной зоны видимости.

Чтобы повысить достоверность оценки показателей назначения КСА ПУ при их испытаниях с применением имитационных моделей РЛС, функционирующих в реальном масштабе времени, требуется разработать алгоритм, позволяющий с необходимым приближением реализовать параметры реальной зоны видимости РЛС в имитационной модели РЛС и экономно расходующий при этом вычислительные ресурсы ЭВМ.

Зона видимости РЛС в вертикальной плоскости определяется результирующей диаграммой направленности антенны. Уравнение зоны видимости в вертикальной плоскости имеет вид [2]:

$$D(\varepsilon) = D_0 F(\varepsilon) \Phi(\varepsilon), \quad (1)$$

где D_0 – максимальная дальность действия РЛС в свободном пространстве (по цели с заданной эффективной отражающей поверхностью); $F(\varepsilon)$ – нормированная диаграмма направленности антенны в свободном пространстве; $\Phi(\varepsilon)$ – множитель Земли; ε – угол места.

Параметры зоны видимости конкретной РЛС зависят от назначения РЛС и ее конструктивных особенностей. С учетом профиля позиции и характера почвы вид зоны видимости может меняться [2].

Вне зависимости от метода оценки зоны видимости (расчетный, расчетно-экспериментальный, натурный эксперимент) ее параметры

могут быть представлены в табличной форме, содержащей достаточно большой объем данных. Для применения этих данных в имитационной модели РЛС их необходимо представить в компактном виде, то есть определить минимально необходимое количество опорных точек, по которым исходная зона видимости может быть восстановлена с допустимой погрешностью.

Пусть функция интерполируется на отрезке $[a, b]$. Значение заданной на отрезке $[a, b]$ функции f нужно вычислить в произвольной точке x . Однако в нашем случае целесообразнее заменить прямое вычисление функции f вычислением значений ее интерполяционного многочлена P_n . Для такой замены необходимо один раз получить таблицу значений функции f в выбранных на отрезке $[a, b]$ точках x_0, x_1, \dots, x_n . При этом естественно стремиться к такому выбору узлов интерполяции, который позволит сделать минимальную величину $\Delta(P_n) = \max|f(x) - P_n(x)|$ – погрешность интерполяции на отрезке $[a, b]$.

Пусть о функции f известно лишь то, что она непрерывно дифференцируема $n+1$ раз на отрезке $[a, b]$. Тогда верхняя граница погрешности интерполяции [3]

$$\bar{\Delta}(P_n) = \frac{M_{n+1}}{(n+1)!} \max_{[a,b]} |\omega_{n+1}(x)|, \quad (2)$$

где $\max_{[a,b]} |\omega_{n+1}(x)|$ – оценка максимума модуля погрешности интерполяции на отрезке $[a, b]$;

$$M_{n+1} = \max_{[a,b]} |f^{(n+1)}(x)|;$$

$$\omega_{n+1}(x) = (x-x_0)(x-x_1)\dots(x-x_n).$$

Метод решения этой задачи с помощью интерполяции единым для всего отрезка многочленом $P_n(x)$ называется *глобальной полиномиальной интерполяцией*. Однако в вычислительной практике глобальная интерполяция многочленом высокой степени не применяется [3].

Альтернативный подход состоит в локальной интерполяции, когда функция f аппроксимируется интерполяционным многочленом $P_n(x)$ невысокой степени m на содержащемся в $[a, b]$ отрезке $[\alpha, \beta]$ малой длины. При этом используется лишь часть табличных значений.

Имеются два подхода к приближению функции, основанные на локальной интерполяции [3].

При интерполяции с помощью «движущегося» полинома строят набор полиномов фик-

сированной степени m , каждый из которых совпадает с табличными значениями в $m+1$ последовательных точках. Каждый такой полином используется для приближения функции в тех точках x из отрезка $[a, b]$, для которых выбранные узлы таблицы являются ближайшими.

Второй подход – кусочно-полиномиальная интерполяция. Исходный отрезок $[a, b]$ разбивают на несколько отрезков меньшей длины, на каждом из которых функция интерполируется своим многочленом. Интерполяцию «движущимся» полиномом можно рассматривать как частный случай кусочно-полиномиальной интерполяции.

Метод кусочно-полиномиальной интерполяции позволяет с необходимым приближением реализовать параметры зоны обнаружения РЛС, если в качестве границ участков выбирают локальные минимумы реальной зоны видимости. Количество участков и степени интерполяционных многочленов зависят от параметров зоны видимости конкретной РЛС, и обычно достаточно 3–5 опорных точек на каждом участке для получения удовлетворительного результата.

В качестве исходных данных для имитационной модели задаются следующие параметры:

k – количество участков;

m_i – степень интерполяционного полинома

на каждом i -м участке;

массив опорных точек.

Суммарное количество опорных точек в массиве составляет

$$S = \sum_{i=1}^k m_i + 1. \quad (3)$$

Алгоритм определения опорных точек включает в себя несколько этапов. На первом этапе в качестве опорных точек рассчитываются локальные экстремумы функции $D(\epsilon)$ и производится интерполяция функции в узлах решетки, соответствующих исходной функции. При этом в качестве границ участков принимаются начальная точка, локальные минимумы функции, конечная точка отрезка $[a, b]$. В качестве промежуточных принимаются точки локальных максимумов и дополнительные точки. Для задания дополнительных точек определяются разности расчета дальности ΔD по сравнению с исходной функцией. Для тех интервалов между опорными точками, где разности ΔD превышают заданную величину, добавляется новая опорная точка из числа точек исходной функции, ближайшая к середине этого интер-

вала. Процесс повторяется до тех пор, пока погрешность расчета дальностей обнаружения не будет превышать заданную.

Таким образом, для «восстановления» с допустимой погрешностью исходной зоны видимости по ограниченному количеству опорных точек предлагается для задания опорных точек использовать метод кусочно-полиномиальной интерполяции; при этом в качестве границ участков принимаются начальная точка, локальные минимумы функции, конечная точка отрезка [a,b]. Предлагаемая методика определения опорных точек для представления зоны ви-

димости РЛС позволяет обеспечить требуемую точность формирования параметров зоны видимости РЛС при работе имитационной модели РЛС в реальном масштабе времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьмин, С. З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации / С. З. Кузьмин. – М.: Сов. радио, 1974. – 432 с.
2. Справочник по радиолокации. В 4 т. Т. 1. Основы радиолокации / под ред. М. Скольника. – М.: Сов. радио, 1976. – 456 с.
3. Амосов, А. А. Вычислительные методы для инженеров: учеб. пособие / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченова. – М.: Высшая школа, 1994. – 544 с.

УДК 539.193/.194.535/.33/34

М. Д. Элькин, В. В. Смирнов**, О. М. Алыкова***

МОДЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ТРИНИТРОТОЛУОЛА, ТРИНИТРОТРИАЗИНА, ГЕКСОГЕНА

*Саратовский государственный технический университет

**Астраханский государственный университет

E-mail: elkinmd@mail.ru, vsmirnov@mail.ru, olga-alykova@mail.ru

На основании неэмпирических квантовых расчетов параметров адиабатического потенциала тринитротолуола, тринитротриазина и гексогена предложена интерпретация колебательных состояний соединений.

Ключевые слова: тринитротолуол, тринитротриазин, гексоген, адиабатический потенциал, колебательные состояния.

M. D. El'kin, V. V. Smirnov**, O. M. Alykova***

MODELING CALCULATIONS OF VIBRATIONAL STATES FOR TRINITROTOLUENE, TRINITROTRIAZINE, GEXOGENE

*Saratov State Technical University

**Astrahan State University

On the base of nonempirical quantum-mechanical calculations for parameters of adiabatic potential for trinitrotoluene, trinitrotriazine and , gexogene the interpretation of vibrational states are propoused.

Keywords: trinitrotoluene, trinitrotriazine, gexogene, adiabatic potential, vibrational state.

Введение

Тринитротолуол ($C_7H_5N_3O_6$), тринитротриазин ($C_3N_6O_6$), гексоген ($C_3H_6N_6O_6$) – известные взрывчатые вещества бризантного действия, принадлежащие к энергоемким соединениям.

Теоретическое исследование конформационной структуры и молекулярной динамики, проявляющейся в колебательных спектрах указанных соединений, осуществлялось неоднократно. Для примера сошлемся на работы [1–12].

Однако использование полученных результатов для задачи спектральной идентификации соединений требует подтверждения их достоверности, что можно осуществить в рамках неэмпирических или гибридных квантовых методов исследования геометрической и электронной структуры сложных молекулярных систем.

Цель данной публикации состоит в построении структурно-динамических моделей тринитротолуола, тринитротриазина и гексогена (представленных на рисунке, приведенном ниже), выявлении признаков их спектральной идентификации.

Моделирование структуры и динамики соединений

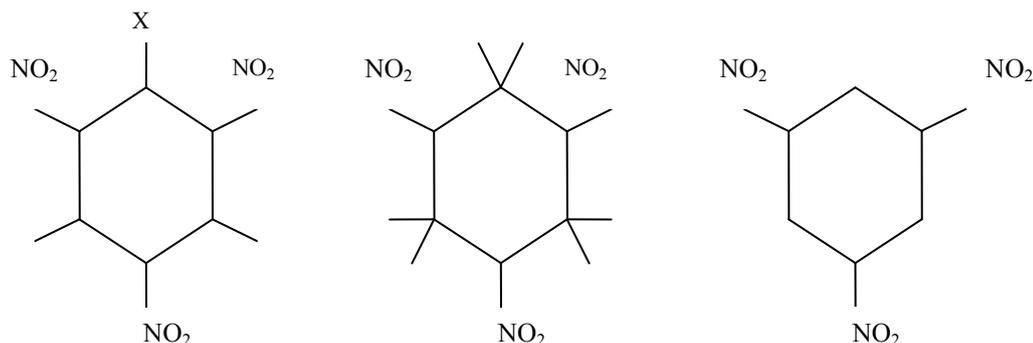
Исходным шагом исследования являлся анализ конформационной структуры соединений в рамках метода функционала плотности DFT/b3LYP [13]. Критерием достоверности модельных расчетов служил факт воспроизведения низкочастотных крутильных колебаний нитрофрагментов.

Для тринитротолуола (группа симметрии Cs) крутильные колебания фрагментов NO_2 и

CH_3 воспроизводятся для модели, в которой плоскость симметрии молекулы перпендикулярна плоскости бензольного кольца.

Для тринитротриазина (изначально предполагалась принадлежность молекулы к группе D_{3h}) модельные расчеты осуществлены для двух положений нитрогрупп. В первой модели они лежат в плоскости шестичленного цикла, во второй модели – перпендикулярны к ней. Крутильные ко-

лебания нитрогрупп воспроизвести не удалось (отрицательные значения $\sim 30 \text{ см}^{-1}$). Отметим, что попытки понизить симметрию молекулы за счет некомпланарности атомов шестичленного цикла (C_3N_3) в исходной конфигурации не привели к желаемому результату для крутильных колебаний фрагментов $\text{C}-\text{NO}_2$, а оптимизированная геометрия тринитротриазина свелась к плоской структуре ароматического цикла.



Молекулярные диаграммы 1,3,5-тринитротолуола ($X=\text{CH}_3$), тринитрофенола ($X=\text{OH}$), тринитробензола ($X=\text{H}$), гексогена и тринитротриазина

Для прояснения ситуации были осуществлены модельные расчеты конформационной структуры и колебательных состояний тринитробензола, подробное экспериментальное и теоретическое исследование колебательных спектров которого, представленное в публикации [14], указывает на принадлежность молекулы к группе симметрии D_{3h} . Для такой конформационной модели в рамках метода функционала плотности удастся воспроизвести крутильные колебания ($\sim 50 \text{ см}^{-1}$) нитрогрупп. Поэтому есть основание предполагать, что и тринитротриазин обладает той же симметрией, а отрицательные значения частот крутильных колебаний есть результат ограниченных возможностей метода функционала плотности при теоретическом исследовании низкочастотного спектра молекулярной динамики ($>100 \text{ см}^{-1}$). На этот факт было обращено внимание, к примеру, в работе [15].

Воспроизвести низкочастотные деформационные колебания в гексогене удастся для неплоской структуры шестичленного триазинового цикла соединения (симметрия C_{3v}). Оптимизированные значения геометрических параметров соединения (длины валентных связей, значения валентных и двугранных углов) представлены в табл. 1.

Выбор базиса расчета сказывается на третьем знаке мантиссы для оптимизированных зна-

чений длин валентных связей, на втором знаке мантиссы для валентных углов, на первом знаке мантиссы для двугранных углов.

Оптимизация геометрии изомеров приводит к следующим оценкам длин валентных связей (в Å) и валентных углов ($^\circ$) для нитрогрупп: $R_{\text{CN}} = 1.48$; $R_{\text{NO}} = 1.21$; $A_{\text{NON}} = 126.6$ в тринитротолуоле; $R_{\text{CN}} = 1.53$; $R_{\text{NO}} = 1.21$; $A_{\text{NON}} = 128.2$ в тринитротриазине; $R_{\text{NN}} = 1.40$; $R_{\text{NO}} = 1.22$; $A_{\text{NON}} = 127$ в гексогене.

Для оценки энергий колебательных состояний исследуемых соединений использовалось известное соотношение [16]:

$$E_v = \nu_s(n_s + 1/2) + \chi_{sr}(n_s + 1/2)(n_r + 1/2). \quad (1)$$

Ангармонические константы χ_{sr} в соотношении (1) оценивались по предложенным в публикации [17] формулам:

Таблица 1

Оптимизированные значения геометрических параметров S-гексогена*

R_{CN}	1.46	A_{CNC}	117.1	D_{CNCN}	-55	$D_{\text{NNC}_2\text{H}_1}$	44
R_{NN}	1.40	A_{NCN}	105.8	D_{CNCH_1}	-173	D_{NNCH_2}	-77
R_{NO}	1.22	A_{NNO}	116.5	D_{CNCH_1}	66	D_{CNNO_1}	19
R_{CH}	1.09	A_{ONO}	126.9	D_{NNCC}	162	D_{CNNO_2}	-162

Примечание. Длины связей – в Å ; значения валентных (A) и двугранных углов (D) – в $^\circ$; H1, H2, O1, O2 – атомы фрагментов CH_2 и NO_2 .

$$\chi_{ss} = 1/16F_{ssss} - 5/48(F_{sss})^2/v_s + 1/32(F_{ssr})^2(\Omega(s;s;-r) - \Omega(s;s;r) - 12\Omega(r;r;r)) (1-\delta_{sr}), \quad (2)$$

$$\chi_{sr} = 1/16F_{ssrr} - 1/8(F_{ssr})^2(\Omega(s;s;-r) + \Omega(s;s;r)(1-\delta_{sr}) + 3/8(F_{srt})^2(\Omega(s;r;t) - \Omega(s;r;-t) + \Omega(s;-r;t) - \Omega(s;-r;-t))(1-\delta_{sr})(1-\delta_{st})(1-\delta_{rt}) + L(a;sr)^2/(\Omega(s;0r) + \Omega(s;-r;0))/2. \quad (3)$$

В соотношениях (1)–(3) $P_\alpha = L(\alpha;sr)Q^s P_r$; $L(\alpha;sr)$ – постоянные Кориолиса; v_s – частоты гармонических колебаний (в см^{-1}); Q^s – безразмерные нормальные колебательные координаты, линейно связанные с декартовыми смещениями атомов; F_{srt} и F_{srtr} – кубические и квартичные силовые постоянные (параметры адиабатического потенциала молекулы), $\Omega(s; \pm r; \pm t) = (v_s \pm v_r \pm v_t)^{-1}$ – резонансные функции; n_s – квантовые числа рассматриваемого колебательного состояния.

Результаты модельных квантовых расчетов частот фундаментальных колебаний сопоставлены с имеющимися экспериментальными данными. Из рассмотрения исключены полосы, интерпретированные как валентные колебания связей СН (характер их проявления хорошо известен [18]), а также полосы слабой интенсивности, не представляющий интерес для задач спектральной идентификации соединений.

В тринитротолуоле интенсивными в спек-

трах ИК и КР являются полосы, интерпретированные как проявление валентных колебаний связей NO нитрогрупп (Q_{NO}). Они располагаются в двух частотных диапазонах: $\sim 1600\text{--}1560 \text{ см}^{-1}$ и $1380\text{--}1350 \text{ см}^{-1}$. От двух характеристических колебаний бензольного углеводородного кольца $\sim 1620 \text{ см}^{-1}$ первый диапазон отделен щелью ($\Delta \sim 40 \text{ см}^{-1}$). Такой интенсивный в ИК-спектре дублет можно использовать для спектральной идентификации соединения.

Представляется интересным сопоставление характеристик полос, интерпретированных как колебания нитрогруппы в нитробензоле [14]. Нитробезол ($C_6H_5NO_2$) обладает симметрией C_{2v} . Симметричное и антисимметричное валентные колебания связей NO проявляются как интенсивные полосы в спектре ИК ~ 1320 и 1525 см^{-1} соответственно. Деформационное колебание угла A_{ONO} (γ_{ONO}) отнесено к полосе 852 см^{-1} , что хорошо согласуется с отнесением, представленным в табл. 2.

Таблица 2

Интерпретация колебательных состояний 1,3,5-тринитротолуола

Форма колебаний	$\nu_{\text{эк}} [5]$	1,3,5-TNT								
		Расчет			G*		G**		+G**	
		ν_r	ν_m	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР
Q_β	1617	1661	1607	1622	182	33	195	31	140	55
Q_{NO}, β, γ	1555	1618	1566	1579	242	57	233	59	374	54
β, β'	–	1480	1434	1445	4.1	0.5	3.2	0.7	5.5	0.9
Q_{NO}, Q_{CN}	–	1391	1349	1359	1.8	162	1.7	162	2.3	146
Q_{CN}, Q_{NO}	1350	1377	1335	1347	352	82	351	81	357	121
Q_{CC}	1200	1218	1183	1191	1.3	51	0.7	54	0.6	59
γ	–	1182	1148	1156	12	18	11	15	12	16
β	–	1103	1072	1083	49	7.1	51	6.8	51	11
ρ	–	956	930	939	16	1.0	14	1.6	16	3.7
Q_{CN}, γ	–	945	920	928	44	9.9	46	9.4	41	5.0
γ_{ONO}	841*	848	826	840	2.0	8.3	2.0	8.3	2.3	15
γ, γ_{ONO}	–	807	786	796	18	5.9	17	6.0	15	7.5
$\rho_{CN}, \rho_{CC}, \chi$	–	783	764	773	5.7	1.2	6.0	1.1	5.6	0.7
ρ_{CN}	–	736	718	737	27	1.6	27	1.6	21	1.0
χ, ρ_{CN}	–	712	695	707	18	1.6	18	1.7	19	2.0
$\rho_{CN}, \rho_{CC}, \chi$	–	657	641	649	7.1	2.4	7.0	2.4	6.1	3.2
γ	–	321	314	313	0.2	5.8	0.2	5.8	0.3	6.3
β_{CN}	–	192	188	189	5.1	0.7	5.2	0.7	5.6	0.8

Форма колебаний	$\nu_{\text{экс}}$ [5]	1,3,5-TNT								
		Расчет			G*		G**		+G**	
		$\nu_{\text{г}}$	$\nu_{\text{м}}$	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР
χ_{CN}	–	119	117	118	4.3	0.8	4.2	0.9	4.6	0.9
χ_{CN}	–	94	92	87	5.2	1.2	5.3	1.2	5.9	1.3
Q_{NO}, Q	1617	1659	1605	1622	168	0.1	172	0.2	138	0.3
Q_{NO}	1555	1623	1570	1586	6.4	3.6	6.8	3.6	5.8	7.6
Q, β, γ	1545	1602	1550	1566	121	32	116	31	192	43
$Q_{\text{NO}}, Q_{\text{CN}}$	1350	1381	1339	1346	336	20	334	21	315	21
Q	–	1346	1305	1317	4.1	1.1	3.9	1.0	2.0	0.7
β	1200	1227	1191	1204	15	0.2	15	0.3	14	0.2
$\gamma_{\text{ONO}}, Q_{\text{CN}}$	917*	918	894	904	44	4.2	45	4.1	35	2.5
$\gamma, \gamma_{\text{ONO}}$	745*	741	723	731	50	1.0	49	0.9	49	1.4

Пр и м е ч а н и е. Частоты колебаний в см^{-1} , интенсивности в спектрах ИК и КР в км/моль ; в спектрах КР – в Å/атм . * По данным из работы [12].

В табл. 3 дана интерпретация наиболее интенсивных в спектрах ИК и КР полос тринитротриазина. Налицо характеристичность по частоте валентных колебаний связей NO (q_{NO}). Это полосы ~ 1620 и 1360 см^{-1} . При этом вторая полоса самая интенсивная в спектре КР (симметричное колебание связей NO нитрогруппы). Высокочастотная полоса колебания нитрогруппы типа симметрии E' обладает наи-

большей интенсивностью в спектре ИК и заметной интенсивностью в СКР. Указанные полосы могут быть использованы для спектральной идентификации фрагмента NO_2 . Вдвое большей ($\sim 70 \text{ см}^{-1}$), в отличие от тринитротолуола, разделены полосы, интерпретированные как колебание шестичленного цикла антисимметричное колебание связи NO (диапазон $1650\text{--}1550 \text{ см}^{-1}$).

Таблица 3

Интерпретация колебательных спектров s-тринитротриазина

Тип сим	Форма колеб	$\nu_{\text{г}}$	$\nu_{\text{м}}$	6-311G*		6-311+G**	
				ИК	КР	ИК	КР
A1'	$q_{\text{CN}}, q_{\text{NO}}$	1375	1333	0	46	0	49
	γ, Q_{CN}	1277	1240	0	2.4	00	2.0
	γ	1016	988	0	26	.0	26
	γ_{ONO}	852	830	0	4.5	0	9.1
	γ	313	306	0	10	0	12
A2''	$\rho_{\text{CN}}, \chi_{\text{CN}}$	829	808	8.1	0	13	0.0
	χ_{CN}	677	661	28	0	18	0.0
	ρ_{CN}	111	109	11	0	12	0.0
E'	$q_{\text{NO}}, \beta_{\text{NO}}$	1684	1628	598	13	670	41
	Q_{CN}, γ	1612	1560	498	5.1	552	5.8
	$q_{\text{NO}}, \gamma_{\text{ONO}}$	1365	1324	422	0.4	396	2.0
	$Q_{\text{CN}}, q_{\text{CN}}, \gamma$	1349	1309	74	0.2	84	0.1
	$\gamma_{\text{ONO}}, q_{\text{CN}}$	911	887	51	1.6	38	0.1
	$\gamma, \gamma_{\text{ONO}}$	774	754	228	0.4	222	0.2
	β_{NO}	368	360	0.1	17	0.2	16

Как и место в тринитротолуоле, тринитротриазине и тринитробензоле наибольшей интенсивностью в спектрах ИК гексогена обладают полосы, интерпретированные как валентные колебания связей NO (Q_{NO}) нитрогрупп (табл. 4), однако диапазон их проявления смещен в коротковолновую часть спектра до величины $\sim 50 \text{ см}^{-1}$.

Явным признаком спектральной идентификации гексогена является сильная по интенсивности в ИК-спектре соединения полоса ($\sim 970 \text{ см}^{-1}$), интерпретированная как валентное колебание связи NN (Q_{NN}) нитрофрагмента. Использование остальных полос для этих целей затруднено.

Таблица 4

Интерпретация фундаментальных колебаний гексогена

Форма колебаний	$\nu_{\text{эксп}}$ [7,9]	$\nu_{\text{г}}$	$\nu_{\text{м}}$	$\nu_{\text{анг}}$	6-311G*		6-311G**		+G**		++G**	
					ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР
Симметрия A1												
Q_{NO}, β_{NNO}	1589	1649	1594	1623	892	5.2	899	5.2	1034	15	1034	15
β	1458	1534	1486	1498	2.7	0.4	3.0	0.3	4.2	0.1	4.2	0.1
Q_{NN}, Q_{NO}	1342	1360	1319	1332	22	19	29	18	16	22	17	23
β	1218	1253	1217	1226	8.0	31	7.5	31	6.7	39	6.8	40
ρ_{NN}, χ, Q_{CN}	881	914	890	889	55	4.1	52	4.7	47	4.6	47	4.6
γ_{ONO}	779	823	802	813	6.1	7.3	7.4	7.0	4.6	12	4.7	13
ρ_{NN}	739	767	748	756	21	0.2	22	0.2	11	0.1	12	0.1
γ_{ONO}, γ	670	704	687	691	1.1	0.3	1.2	0.3	0.5	0.2	0.5	0.2
χ	348	332	325	328	0.3	12	0.2	12	0.1	13	0.1	13
χ, ρ_{NN}	324	319	313	324	12	0.2	12	0.1	9.8	1.1	9.9	0.9
Симметрия E												
β	1527	1520	1472	1493	13	13	12	14	14	11	14	11
β	1386	1441	1397	1409	80	12	106	9.4	78	7.4	78	7.6
β	1307	1341	1301	1308	26	4.6	26	3.6	50	3.6	46	3.6
Q_{CN}, β_{CNN}	1268	1304	1265	1264	98	0.2	104	0.2	148	0.1	144	0.2
β, Q_{NO}, Q_{CN}	1261	1285	1247	1251	1110	15	1084	15	1066	15	1074	15
β, Q_{NN}	1039	1067	1038	1050	113	8.5	129	8.2	232	8.6	236	8.8
β, Q_{NN}	947	998	971	970	690	11	674	10	740	11	738	11
γ_{ONO}	852	892	868	875	54	2.6	44	2.6	54	1,2	54	1.2
γ, β_{NNO}	591	592	578	584	18	7.4	19	7.6	19	6.6	19	6.4
γ, β_{CNN}	348	362	354	355	1.0	12	1.2	12	1.0	10	1.0	10
χ, ρ_{NN}	226	223	219	242	9.2	0.4	8.6	0.3	8.7	0.8	8.6	0.7

Отметим и следующий факт. Для всех исследуемых соединений результаты расчета колебательных состояний в ангармоническом приближении хорошо согласуются с оценкой ангармонического смещения полос в рамках процедуры масштабирования результатов квантовых расчетов для частот фундаментальных колебаний в гармоническом приближении [19]. Учет поляризационных и диффузионных параметров базиса квантового расчета не сказывается на теоретической интерпретации экспериментальных данных.

Заключение

Результаты проведенных модельных расчетов геометрии и колебательных состояний тринитрозамещенных шестичленных циклических соединений (тринитротолуола, тринитробензола, тринитротриазина, тринитрофенола), сопоставление полученных результатов с имеющимися экспериментальными данными по колебательным спектрам соединений дают основание утверждать, что методы функционала плотности DFT/b3LYP обладают достоверными предсказательными возможностями для построения

структурно-динамических моделей исследуемого класса соединений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Stewart J.J.P., Bosko S.R., Carpes W.R. Vibrational spectra 2,4,6-trinitrotoluene and its isotopically substituted analogues // Spectrochim. Acta, 1986, V.42A, N1. P.13–21.
2. Carpes W.R., Stewart J.J.P. Effect of isotopic substituted on the vibrotional spectra of 2,4,6-trinitrotoluene // Spectrochim. Acta, 1987, V.43A, N.10, P.1249–1255.
3. Wadhvani N., Wadhvani S.G., Gupta V.D. Normal vibrational of trinitrotoluene: Need for fresh study // Defence Science Jornal, 1994, V.44, N.1, P. 61–67.
4. Hernandez-River S.P., Castillo J. Ab initio and DFT calculation and vibrational analysis of 2,4,6-trinitrotoluene // Vibrational spectroscopy, 2010, V.53, N.2, P. 248–259.
5. Kleza V., Bekesiene S. Theoretical investigation of electronic structure and vibrational spectra of conformers of trinitrotoluene and trinitrophenol // Acta physica PoloniaA, 2011, V.119, N2, P.198–193.
6. Rice B.M., Chabalowski C.F. Ab initio and Nonlocal density functional Study of 1,3,5-trinitrotriazine (RDX) conformers // J.Phys. Chem. A1997, V.101, N13, P. 8721–8726.
7. Betsy M. Rice, Cary F. Chabalowski Ab initio and Nonlocal density functional study of 1,3,5-trinitro-s-triazine(RDX) // J. Phys. Chem.A.1997, V.101, P. 8720–8726.
8. Perla Torrez, L.Mercado, I. Cotle, S.P. Hernandez, N.Mina, A. Santena, R.T. Chamberlian, R. Larean, M. E. Castro. Vibrational spectroscopy study of α and β RDX deposits // J. Phys. Chem. B. 2004, V.108(26), P. 8799–8805.
9. Ricardo Infant-Castillo, Leonardo C. Pacheco-Londono. Vibrational spectra and structure of RDX and its ^{13}C and ^{15}N -labeled derivatives: a theoretical and experimental study // Spectrochim. Acta. 2010 A, V.76, N.2, P. 137–141.
10. Carlos Guadarrama-Perez, J.M. Martinez, Perla B. Balbuena. Theoretical infrared and terahertz spectra of RDX/ aluminum complex // J. Phys. Chem. 2010, V.114(6), P. 2284–2292.
11. Ricardo Infant-Castillo, Leonardo C. Pacheco-Londono, Samuel P. Hernandez-Rivera. Monitoring the α , β solid-solid phase transition of RDX with Raman spectroscopy: A theoretical and experimental study // J. Mol Structure. 2010, V.970, P. 51–58.
12. X. Zheng, J. Zheo, D.Tan, C. Lin, Y. Song, Y. Yang. High-pressure vibrational spectroscopy of hexahidro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX) // Properlants, Explosives, Pyrotechnics 2011, V.36, N.1, P. 22–27.
13. Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B. and auth. Gaussian, Inc., Pittsburgh PA 2003.
14. Vladimiroff T. A density functional study of s-trinitrobenzene // J. Molecular structure, 1998, V.453, P. 119–122.
15. Элькин, М. Д. Возможности информационной технологии gaussian в моделировании колебательных спектров фосфорорганических соединений / М. Д. Элькин, О. В. Колесникова, О. Н. Гречухина // Вестник Сарат. техн. ун-та. – 2008. – № 2(32). – Вып. 1. – С. 105–112.
16. Герцберг, Г. Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул / Г. Герцберг. – М., ИЛ, 1949. – 647 с.
17. Эрман, Е. А. Модельные оценки ангармонического смещения полос в колебательных спектрах димеров карбоновых кислот / Е. А. Эрман, М. Д. Элькин, Е. А. Джалмухамбетова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2010. – № 4 (12). – С. 53–58.
18. Свердлов, Л. М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л. М. Свердлов, М. А. Ковнер, Е. П. Крайнов. – Москва : Наука, 1970. – 559 с.
19. Краснощеков, С. В. Масштабирующие множители как эффективные параметры для коррекции неэмпирического силового поля / С. В. Краснощеков, Н. Ф. Степанов // Журнал физической химии. – 2007. – Т. 81. – № 4. – С. 680–689.

УДК 539.193/.194.535/.33/34

*П. М. Элькин**, *Д. М. Нуралиева***, *А. Р. Гайсина***

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ СПИРТОВ В РАМКАХ МОДЕЛИ МОЛЕКУЛЯРНОГО КЛАСТЕРА НА ПРИМЕРЕ МЕТАНОЛА

*Саратовский государственный технический университет

**Астраханский государственный университет

E-mail: pashaekin@yandex.ru, dianet_88@mail.ru, gaisinaalfiy@mail.ru

Используя результаты модельных квантовых расчетов параметров адиабатического потенциала метанола в рамках кластерного подхода, предлагается интерпретация колебательных спектров соединения в различных фазовых состояниях.

Ключевые слова: метанол, молекулярные кластеры, адиабатический потенциал, колебательные состояния.

*P. M. El'kin**, *D. M. Nuraliyeva***, *A. R. Gajsina***

MODELING OF VIBRATIONAL STATES FOR SPIRITS IN FRAME OF MOLECULAR CLUSTER ON EXAMPLE FOR METHANOL

*Saratov State Technical University

**Astrahan State University

Using the results of modeling quantum-physics calculations for parameters of adiabatic potential for methanol in frame of molecular cluster for difference phase conditions the interpretation of vibrational states are proposed.

Keywords: methanol, molecular clusters, adiabatic potential, vibrational state.

Введение

Привлечение методов колебательной спектроскопии для идентификации продуктов химических и нефтехимических производств, горения и взрыва, экологического мониторинга процесса ликвидации запасов ОВ типа G-агентов связано, в первую очередь, с высоким уровнем безопасности самой экспертизы обнаружения экологически опасных соединений. Важен и фактор сохранения физико-химических свойств исследуемого молекулярного соединения объекта после проведения экспертизы. Не случайно Международная комиссия по запрещению химического оружия [1], разрешая для научных целей осуществлять синтез новых соединений данного класса, настоятельно рекомендует использовать именно экспериментальные методы оптической физики в качестве инструмента для построения структурно-динамических моделей изучаемых молекулярных объектов в различных конденсированных состояниях.

Доминирующую роль в арсенале оптических методов контроля над процессом ликвидации промышленных экотоксикантов играет ИК- и КР-спектроскопия. Такие исследования набирают силу, а публикуемые в научной периодической литературе результаты весьма обнадеживающие. В качестве примера сошлемся на публикации [2; 3], связанные с контролем гидролиза соединений группы G-агентов – технологического процесса их утилизации и уничтожения, конечным продуктом которого являются соответствующие спирты.

Однако практическое применение указанных методов требует надежной теоретической интерпретации колебательных спектров тех молекулярных фрагментов исследуемого соединения, которые определяют его токсичные свойства. Такую возможность предоставляют

неэмпирические квантовые методы молекулярного моделирования – нового и динамично развивающегося научного направления в физике молекул. К примеру, для ряда соединений группы G-агентов, результаты теоретической интерпретации колебательных состояний и предлагаемые на ее основе структурно-динамические модели представлены в публикациях [4–6]. Дальнейший этап в исследовании возможностей спектральной идентификации продуктов гидролиза G-агентов связан с построением структурно-динамических моделей соответствующих спиртов. И если для свободных молекул (газа и пара) такие модели существуют [7], то для раствора (в водной среде) и жидкости задача, на наш взгляд, требует завершения. Сказанное касается и такого известного промышленного соединения, как метанол (Н-О-СН₃). Построение структурно-динамических моделей метанола в водном растворе и жидкости является предметом данного сообщения. Его можно рассматривать как апробацию предложенной в работах [8; 9] методики построения структурно-динамических моделей соединений с водородными связями на основании неэмпирических оценок параметров адиабатического потенциала.

Математическая модель колебательных состояний

Воспользуемся известным соотношением для оценки колебательных состояний [10]:

$$E_v = \nu_s(n_s + 1/2) + \chi_{sr}(n_s + 1/2)(n_r + 1/2). \quad (1)$$

Первое слагаемое в соотношении (1) определяет фундаментальные состояния молекулярной системы в гармоническом приближении теории молекулярных колебаний, второе – ангармоническое смещение полос. Выражения для ангармонических констант χ_{sr} предложены в публикации [11]:

$$\chi_{ss} = 1/16F_{ssss} - 5/48(F_{sss})^2/\nu_s + 1/32(F_{srr})^2(\Omega(s;s;-r) - \Omega(s;s;r) - 12\Omega(r;r;r)) (1-\delta_{sr}), \quad (2)$$

$$\chi_{sr} = 1/16F_{srrr} - 1/8(F_{srr})^2(\Omega(s;s;-r) + \Omega(s;s;r)(1-\delta_{sr}) + 3/8(F_{srt})^2(\Omega(s;r;t) - \Omega(s;r;-t) + \Omega(s;-r;t) - \Omega(s;-r;-t))(1-\delta_{sr})(1-\delta_{st})(1-\delta_{rt}) + L(a;sr)^2/(\Omega(s;s;0r) + \Omega(s;-r;0))/2. \quad (3)$$

В соотношениях (1)–(3) $P_\alpha = L(\alpha;sr)Q^s P_r$; $L(\alpha;sr)$ – постоянные Кориолиса; ν_s – частоты гармонических колебаний, см⁻¹; Q^s – безразмерные нормальные колебательные координаты, линейно связанные с декартовыми смещениями атомов; P_s – соответствующие им импульсы; F_{srr} и F_{srtu} – кубические и квартичные силовые постоянные (параметры адиабатиче-

ского потенциала молекулы); $\Omega(s; \pm r; \pm t) = (\nu_s \pm \nu_r \pm \nu_t)^{-1}$ – резонансные функции; n_s – квантовые числа рассматриваемого колебательного состояния.

Величина ангармонического сдвига отдельной полосы фундаментального колебания определяется величиной ангармонических поправок $X_{ss} = 2\chi_{ss}$ и $X_s = \chi_{sr}/2$.

Результаты модельных расчетов

Интерпретация колебаний свободной молекулы метанола (газ, пар) представлена в табл. 1. Выбор базиса расчета не влияет принципиально на оценку положения и интенсивности полос.

Поэтому далее будем оперировать с базисом 6-311G** [12]. Отметим только, что для оценки ангармонического смещения полос можно использовать масштабирующее соотношение вида $\nu_{анг} = (Av_2 + B)v_2$ с параметрами из работы [13].

Таблица 1

Интерпретация колебаний метанола

Форма колебаний	$\nu_{экс} [7]$			$\nu_{анг} (Газ)$			Интенсивность	
	ИК(Газ)	ИК	КР	G*	G**	+G**	ИК	КР
Q _{OH}	3687с.	3337о.с.	3390сл	3594	3644	3650	7.9–30	71–77
q	2973о.с.	2934о.с.	2943с.	2978	2964	2973	27–38	72–77
q	2845с.	2822с	2835о.с.	2746	2844	2859	65–71	135–146
β	1475ср.	1455ср.	1465ср.	1479	1461	1459	3.8–4.1	11–16
β	1425сл.	1420	1448ср	1470	1443	1434	4.9–5.5	4.1–6.8
β_{COH}	1345с.	–	1363сл	1354	1338	1316	21–29	2.5–3.1
β	1070	1114сл.	1109сл.	1075	1055	1041	1.1–7.5	5.2–7.1
Q _{CO}	1034о.с.	1029о.с.	1033с.	1031	1024	1014	116–127	2.1–2.6
q	2973о.с.	2934о.с.	2835о.с.	2854	2883	2903	63–93	76–79
β	1455ср.	1420	1448ср	1477	1445	1448	2.5–3.6	11–16
β	1160сл.	1114сл.	1160о.сл.	1151	1134	1136	0.2–0.4	3.1–6.1
xx	270	–	–	336	322	294	122–143	1.4–3.5

Примечание. Частоты колебаний в см⁻¹, интенсивности в ИК спектрах в км/моль, в спектрах КР в Å⁴/аеи.

Таблица 2

Интерпретация колебаний комплекса «метанол + вода» (модель H---O)

Форма	ν_r	ν_m	$\nu_{анг}$	ИК	КР	Форма	ν_r	ν_m	$\nu_{анг}$	ИК	КР
Q _{OH}	3806	3614	3637	9.1	62	Q _{CO}	1073	1044	1044	96	4.4
Q _{OH}	3699	3516	3524	414	156	β_{H---OH}	281	275	85	254	1.4
q	3082	2945	2938	56	93	Q _{H---O}	203	199	177	4.3	0.1
q	2958	2830	2705	81	149	Q _{OH}	3904	3704	3716	55	36
$\gamma_{НОН}$	1629*	1576	1591	64	6.6	q	2992	2861	2861	99	82
α, β	1512	1465	1469	2.0	15	α, β	1490	1444	1449	1.4	16
α, β	1489	1442	1454	9.5	7.3	α, β	1172	1138	1143	0.6	5.0
β_{OH}	1447	1403	1374	38	1.5	χ_{OH}	735	717	682	123	0.5
α, β	1123	1092	1101	13	3.4	χ_{H_2O}	217	213	172	6.7	2.7

Комплекс «метанол + вода», который соответствует представлению раствора, исследован в рамках трех моделей. Первая модель (табл. 2) связана с образованием водородной связи между атомом водорода гидроксильной группы (ОН) метанола и атомом кислорода молекулы воды. Во второй модели (табл. 3) имеет место водородная связь между атомом кислорода ме-

танола и атомом водорода молекулы воды. Третья модель (табл. 4) – это комплекс из двух молекул метанола и одной молекулы воды. В межмолекулярном взаимодействии с образованием водородных связей находятся атомы кислорода молекул метанола и атомы водорода молекулы воды.

Таблица 3

Интерпретация колебаний комплекса «метанол + вода» (модель O---HOH)

Форма колебаний	Конформер C ₁				Конформер C _s			
	ν_T	ν_M	ИК	КР	ν_T	ν_M	ИК	КР
ρ_{OH}	3874	3677	43	46	3880	3682	51	43
Q_{OH}	3829	3635	35	58	3851	3655	37	67
ρ_{OH}	3691	3508	234	102	3730	3544	257	135
γ_{HOH}	1670	1616	44	4.0	1675	1621	64	4.0
β_{OH}	1373	1332	27	2.8	1372	1331	17	2.1
Q_{CO}	1033	1005	100	4.2	1056	1027	116	3.8
χ_{OH}	271	266	216	0.4	296	290	76	2.6

Таблица 4

Интерпретация колебаний комплекса «метанол + вода + метанол»

Форма	ν_T	ν_M	ИК	КР	Форма	ν_T	ν_M	ИК	КР
Q_{OH}	3853	3657	45–59	162–186	γ_{HOH}	1675	2622	52–81	3.6–7.9
ρ_{OH}	3827	3633	361–409	28–45	β_{OH}	1368	1328	32–34	3.7–3.9
ρ_{OH}	3744	3555	15–97	215–218	Q_{CO}	1050	1021	202–208	6.7–7.2
					χ_{OH}	282	278	122–246	6.3–6.9

По данным оптимизации геометрии, оценка длин водородных связей возможных конформеров каждой модели ограничена интервалом 1,96–2,03 Å. Геометрические параметры метанольных фрагментов и молекулы воды отличаются от соответствующих параметров в свободных молекулах на величину ~0,02 Å для валентных связей и ~ 2° для валентных углов. Отметим, что в рамках квантового метода функционала плотности *DFT/b3LYP* выбор базиса расчета для оценки структуры молекулярных комплексов принципиальной роли не играет.

Предлагаемая на основании неэмпирических квантовых расчетов интерпретация фундаментальных колебаний комплекса «метанол + вода» приведена в табл. 2–4. Смещение полосы валентного (~ 200 см⁻¹) и крутильного (~ 450 см⁻¹) колебаний связи OH метанола имеет место только для первой модели. Это надежные признаки спектральной идентификации. Влияние растворителя – воды – на положение и интенсивности полос в колебательных спектрах в двух последних моделях несущественно. Признаком спектральной идентификации могут служить полосы, интерпретируемые как ва-

лентные колебания связей OH молекулы воды (ρ_{OH}). Для второй модели щель между ними ~170 см⁻¹, для третьей модели ~80 см⁻¹.

Для жидкой фазы метанола использована циклическая модель, предложенная авторами публикации [14]. Внутримолекулярное взаимодействие между мономерами ассоциата (кластера), состоящего из *n*-звеньев, определяет водородная связь между атомом кислорода и атомом водорода соседних звеньев. Проанализированы два варианта. В случае, если цикл, состоящий из атомов кислорода и водорода, является плоским, не удастся воспроизвести неплоские колебания водородных связей. Для неплоского цикла модельный расчет приводит к смещению полос валентных колебаний связей OH в длинноволновую область. Смещение полос крутильных колебаний существенно, что является надежным признаком спектральной идентификации метанольного фрагмента. Эти факты иллюстрирует табл. 5. Для остальных полос метанола можно говорить о характеристичности по частоте, что согласуется с результатами исследования, представленными в монографии [7].

**Интерпретация валентных и крутильных связей ОН
в шестичленном циклическом кластере метанола**

Валентные колебания						Крутильные колебания					
C _{2h} модель			C _i модель			C _{2h} модель			C _i модель		
v _m	ИК	КР	v _m	ИК	КР	v _m	ИК	КР	v _m	ИК	КР
3339	2.0	0	3264	722	0	720	629	0	985	0	7.2
3326	0	176	3243	0	189	676	0	1.1	943	105	0
3324	0	175	3241	0	188	673	0	1.1	939	101	0
3281	3346	0	3179	3277	0	632	0.1	0	845	0	0.9
3279	3361	0	3178	3291	0	629	0.1	0	841	0	0.9
3223	0	746	3100	0	542	613	0	0	793	80	0

Заключение

Проведенный численный эксперимент по моделированию колебательных состояний метанола в газовой, жидкой фазе, водной среде дает основание для использования неэмпирических квантовых методов для предсказательных расчетов спиртов более сложной структуры (к примеру, продуктов гидролиза фосфорорганических соединений).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Organisation for the prohibition of chemical weapons. Cert. No DB/007 (2001).
2. Braue Ernest H., Pannella Michael G. FT-IR Analysis of Warfare Agents // *Applied Spectroscopy*. 44, N.9 (1990) 1513–1520.
3. Inscore F., Gift A. Maksymiuk P., Farquharson S. Characterization of chemical warfare G-agent hydrolysis products by surface-enhanced Raman spectroscopy // *SPIE-2004-5585* (2004) 46–52.
4. Элькин, М. Д. Методы оптической физики в экологическом мониторинге безопасных технологий уничтожения отравляющих веществ / М. Д. Элькин, О. В. Колесникова // *Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии*. – 2006. – № 7(20). – С. 8–16.
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. Элькин, М. Д. Колебательные спектры конформеров зарина и зомана / М. Д. Элькин, С. И. Татаринцев, Е. Ю. Степанович // *Журнал прикладной спектроскопии*. – 2010. – Т. 77. – № 4. – С. 517–523.
7. Свердлов, Л. М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л. М. Свердлов, М. А. Ковнер, Е. П. Крайнов. – М.: Наука, 1970. – 550 с.
8. Элькин, М. Д. Математические модели в молекулярном моделировании / М. Д. Элькин, В. Ф. Пулин, А. Б. Осин // *Вестник Саратов. гос. техн. ун-та*. – 2010. – № 4(49). – С. 36–40.
9. Элькин, М. Д. Учет ангармонического смещения полос в модельных расчетах колебательных спектров димеров с водородной связью / М. Д. Элькин, Л. М. Бабков // *Известия Саратов. гос. ун-та*. – 2011. – Т. 11, вып. 1. – С. 20–25.
10. Hoy A.R., Mills I.M., Strey G. Anharmonic force constants calculation // *J. Mol. Phys.* 1972. Vol. 21, N. 6. P. 1265–1290.
11. Эрман, Е. А. Модельные оценки ангармонического смещения полос в колебательных спектрах димеров карбоновых кислот / Е. А. Эрман, М. Д. Элькин, Е. А. Джалмухамбетова // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. – 2010. – № 4(12). – С. 53–58.
12. Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B. et al. *Caussian 03. Revision B.03*. 2003. Pittsburg PA.: Gaussian Inc.
13. Элькин, М. Д. Ангармонический анализ колебательных состояний пятичленных гетероциклических соединений / П. М. Элькин, В. Ф. Пулин, Е. А. Джалмухамбетова // *Журнал прикладной спектроскопии*. – 2007. – Т. 74. – № 2. – С. 153–156.
14. Bucr U., Siebere J., Wheatley R.J. Structure and vibrational spectra of methanol clusters from a new potential model // *J. Chem. Phys.* 1998, V.108(1), P. 20–32.

УДК 539.193/.194;535/33.34

*Е. А. Эрман**, *П. М. Элькин***, *Е. А. Джалмухамбетова**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ
ДИМЕРОВ АЦЕТИЛСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ**

**Астраханский государственный университет*

***Саратовский государственный технический университет*

E-mail: erman@mail.ru, pashaelkin@yandex.ru, alenna@list.ru

На основании модельных квантовых расчетов геометрической и электронной структуры конформеров ацетилсалициловой кислоты предложены структурно-динамические модели димеров соединений.

Ключевые слова: салициловая кислота, ацетилсалициловая кислота, колебательные спектры, адиабатический потенциал, ангармоническое смещение, водородная связь.

E. A. Erman, P. M. Elkin**, E. A. Djalmuhambetova**

**MATHEMATICAL MODELLING OF STRUCTURE AND DINAMIC IN DIMERS
OF ACETILSALICYLIC ACID**

**Astrahan State University*

***Saratov State Technical University*

On the base of nonempirical quntum-mechanical calculations of geometric and electronic structure for dimmers of acetilsalicylic acid structural dinamic models are propoused.

Keywords: acetilsalicylic acid, vibrational spectra, anharmonic shift, adiabatic potential, hydrogen bonds.

Введение

Ацетилсалициловая кислота (COCH₃-C₆H₄-COOH) – лекарственный препарат с широким диапазоном действия, известный в практической медицине как аспирин.

Как и все представители класса карбоновых кислот, аспирин в реальных условиях образует димеры, для которых характерна сложная структура полос в высокочастотном диапазоне колебательного спектра (>2500 см⁻¹). Их интерпретация является до настоящего времени предметом научных дискуссий. Достаточно сослаться на публикации [1–5]. Не составляют исключения и димеры аспирина [6–8].

Дополнительные трудности в интерпретации высокочастотного диапазона колебательного спектра связаны с принадлежностью аспирина к ортозамещенным бензойной кислоты, для которых возможно проявление внутримолекулярного взаимодействия между карбоксильным фрагментом (COOH) и заместителем. Построение структурно-динамических моделей конформеров таких соединений было предметом ряда научных работ. За подробностями отсылаем к публикациям [9–13].

Цель настоящего сообщения – построение структурно-динамических моделей возможных конформеров аспирина на основании квантовых оценок параметров адиабатического потенциала в рамках метода функционала плотности DFT/b3LYP [14], выявление признаков спектральной идентификации соединений.

Математическая модель расчета колебательных состояний

Для описания колебательных состояний воспользуемся известным соотношением

$$E_v = \nu_s(n_s + 1/2) + \chi_{sr}(n_s + 1/2)(n_r + 1/2), \quad (1)$$

являющимся решением модельного уравнения для описания колебаний ядерной подсистемы в рамках адиабатической теории возмущения второго порядка [15]:

$$2H = \nu_s(P_s^2 + (Q^s)^2)/2 + \mu^{1/4} P_\alpha \mu^{-1/4} P_\beta \mu^{1/4} + + 1/3 F_{rst} Q^r Q^s Q^t + 1/12 F_{rstu} Q^r Q^s Q^t Q^u + \quad (2)$$

Выражения для ангармонических констант χ_{sr} предложены в публикации [16]:

$$\chi_{ss} = 1/16 F_{ssss} - 5/48 (F_{sss})^2 / \nu_s + + 1/32 (F_{ssr})^2 (\Omega(s;s;-r) - \Omega(s;s;r) - - 12\Omega(r;r;r) (1-\delta_{sr}) \quad (3)$$

$$\chi_{sr} = 1/16 F_{ssrr} - 1/8 (F_{ssr})^2 (\Omega(s;s;-r) + + \Omega(s;s;r) (1-\delta_{sr})) + 3/8 (F_{srr})^2 (\Omega(s;r;t) - \Omega(s;r;-t) + + \Omega(s;-r;t) - \Omega(s;-r;-t)) (1-\delta_{sr}) (1-\delta_{st}) (1-\delta_{rt}) + + L(a;sr)^2 / (1/(\nu_s + \nu_r) + 1/(\nu_s - \nu_r)) / 2. \quad (4)$$

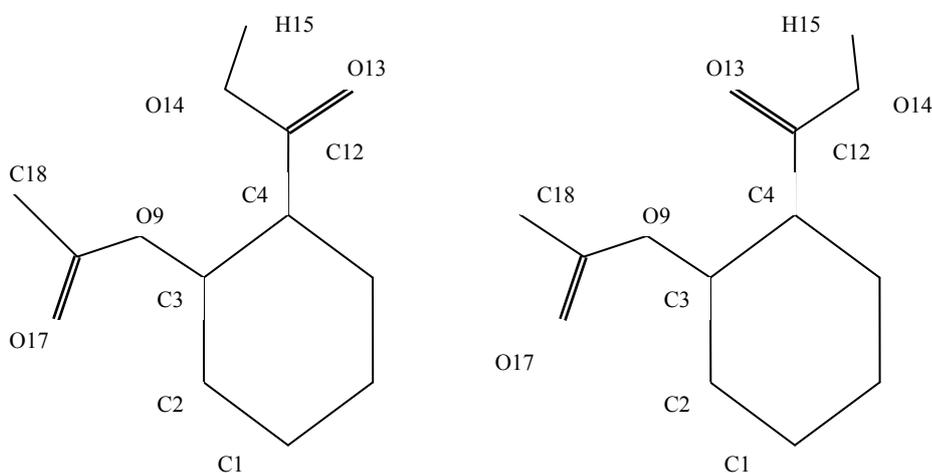
В соотношениях (1)–(4) $P_\alpha = L(a;sr) Q^s P_r$; $L(a;sr)$ – постоянные Кориолиса, ν_s – частоты гармонических колебаний (в см⁻¹); Q^s – безразмерные нормальные колебательные координаты, линейно связанные с декартовыми смещениями атомов; F_{srt} и F_{rtu} – кубические и четвертные силовые постоянные (параметры адиабатического потенциала молекулы); $\Omega(s; \pm r; \pm t) = = (\nu_s \pm \nu_r \pm \nu_t)^{-1}$ – резонансные функции; n_s –

квантовые числа рассматриваемого колебательного состояния.

Ангармоническое смещение отдельной полосы фундаментального колебания определяется величинами ангармонических поправок $X_{ss} = 2\chi_{ss}$ и $X_s = \chi_{sr}/2$. Оценка параметров адиабатического потенциала осуществлялась в рамках метода DFT/b3LYP с базами от 6-311G* до 6-311++G** [14].

Согласно результатам оптимизации геометрии возможных конформационных моделей аспирина, связанных с взаимным расположением карбоксильной группы и ацетилового фрагмента, сходимость к минимуму адиабатического потенциала достигается лишь для исходной геометрии, представленной на рисунке. Крутильные колебания ацетилового (СОСН₃) фрагмента в мономерах аспирина воспроизводятся

лишь для конфигураций симметрии C₁. Для всех четырех возможных конформеров (1А, 2А, 1В, 2В) расстояние между атомами кислорода карбоксильного фрагмента и фрагмента ОСОСН₃ превышает значение 2.5 Å. Для атомов водорода метильной группы (С18Н₃) и атомов кислорода карбоксильного фрагмента расстояние более 3.1 Å. Вычисленные значения двугранных углов конформеров приведены в табл. 1. По ним можно судить о свойствах компланарности фрагментов. Расчетные значения валентных углов (°) ацетилового и карбоксильного фрагментов располагаются в интервалах: O₉C₁₆O₁₇ = 118–123; O₉C₁₆C₁₈ = 109–117; O₁₇C₁₆C₁₈ = 125–127; C₄C₁₂O₁₃ = 123–127; C₄C₁₂O₁₄ = 112–115; O₁₃C₁₂O₁₄ = 121–122; C₁₂O₁₄H₁₅ = 105–107.



Молекулярные диаграммы аспирина 1А, 1В и 2А, 2В

Таблица 1

Вычисленные значения двугранных углов в мономерах и димерах аспирина

Углы	Мономеры				Циклические димеры			
	1А	1В	2А	2В	1А1А	1В1В	2А2А	2В2В
C ₂ C ₃ O ₉ C ₁₆	107	95	109	97	-110	94	-108	97
C ₄ C ₃ O ₉ C ₁₆	-76	-91	-75	-90	73	-93	75	-89
C ₃ O ₉ C ₁₆ O ₁₇	-5	-11	180	-179	6	-179	9	179
C ₃ C ₄ C ₁₂ O ₁₃	176	2	-163	23	-174	-159	-1	24
O ₁₃ C ₁₂ O ₁₄ H ₁₅	-2	1	3	1	1	2	0	1

Расчетные значения длин валентных связей бензольного остова и карбоксильного фрагмента отличаются от аналогичных параметров бензойной кислоты на величину не более 0.01 Å. Для валентных углов бензольного остова C₆H₄ различие не превышает 1.8°. Для геометрии ацетилового фрагмента результаты оптимизации геометрии приводят к результатам для

длины связей (в Å): R_{OC} = 1,37–1,39, R_{CC} = 1,51, R_{C=O} = 1,19–1,20.

Образование димеров аспирина не приводит к существенному изменению геометрии для бензольного остова и ацетилового фрагмента. Для валентных связей это отличие не превышает 0.01 Å, для валентных углов – 0.2°.

Для карбоксильных фрагментов R_{C=O} = 1,23

\AA (1,21), $R_{\text{CO}} = 1,32 \text{\AA}$ (1,35), $\text{A}_{\text{OC}=\text{O}} = 121\text{--}123^\circ$, $\text{A}_{\text{COH}} = 110^\circ$. В скобках приведены значения для мономеров. Расхождение для конформеров не превышает величины $\sim 0.005 \text{\AA}$ для длин связей и $\sim 0.3^\circ$ для валентных углов. Длины водородных связей $R_{\text{O}\cdots\text{H}} \sim 1.66 \text{\AA}$.

Набор фундаментальных колебаний (табл. 2–6) конформеров аспирина можно условно разделить на три группы. Это колебания ацетилового

(табл. 2), карбоксильного (табл. 3, 5) фрагментов и бензольного (C_6H_4) остова (табл. 4, 6). Отметим только, что спектральная идентификация изомеров в диапазоне ниже 600 см^{-1} , куда попадают деформационные колебания валентных углов, содержащих атом кислорода, деформационные колебания углов кольца (γ), неплоские деформационные колебания шестичленного цикла (χ), затруднена ввиду слабой интенсивности полос.

Таблица 2

Интерпретация колебаний ацетилового фрагмента в мономерах и димерах аспирина

Форма колебаний	ν_r	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР
			1А		1В		2А		2В	
$Q_{\text{C}=\text{O}}$	1861	1798	227	4.3	393	9.1	221	4.2	419	9.4
$q_{\text{CO},\beta}$	1243	1207	78	21	134	19	4.4	13	85	21
β, Q_{OC}	1199	1164	286	26	301	17	404	21	266	9.4
Димеры	ν_r	$\nu_{\text{анг}}$	1А1А		1В1В		2А2А		2В2В	
$Q_{\text{C}=\text{O}}$	1866	1788	434	7.4	758	16	423	7.8	797	15
q_{CO}	1239	1203	26	37	154	78	37	50	179	85
Q_{OC}	1192	1159	794	49	641	28	844	48	444	25

Примечание. Частоты колебаний – в см^{-1} , интенсивности ИКС – в км/моль ; СКР – в $\text{\AA}/\text{а.е.м.}$

В табл. 3 дана теоретическая интерпретация валентных колебаний ацетилового фрагмента изомеров аспирина. Она свидетельствует, что влиянием внутримолекулярного взаимодействия на положение полос фрагмента OSOCH_3 можно пренебречь. Однако интенсивность полос, интерпретированных как валентные колебания связей $\text{CO}(q_{\text{CO}})$ может быть использована

для спектральной идентификации изомеров 1В, 2В. Полосы, интерпретированные как деформационные колебания этого фрагмента, имеют, согласно модельным расчетам, низкую интенсивность в спектрах ИК и КР и для задач спектральной идентификации интереса не представляют. Проявление колебаний метильной группы (CH_3) в спектрах ИК и КР известно [17].

Таблица 3

Интерпретация колебаний карбоксильного фрагмента в мономерах аспирина

Форма колебаний	ν_r	$\nu_{\text{анг}}$	1А		1В		2А		2В	
			ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР
Q_{OH}	3737	3550	56	137	62	148	64	149	64	160
$Q_{\text{C}=\text{O}}$	1799	1738	347	44	399	41	393	48	371	41
$\beta_{\text{OH}}, Q_{\text{CO}}$	1386	1344	92	5.6	98	6.3	69	6.7	73	5.9
$\beta_{\text{OH}}, Q_{\text{CC}}$	1224	1189	437	7.1	279	23	278	17	232	24
γ, Q_{CO}	1098	1068	15	2.4	9.3	1.8	166	1.9	148	1.2
γ_{OCO}	645	629	26	3.0	29	3.4	35	0.4	35	2.6
χ_{OH}	620	605	54	5.8	57	6.1	74	6.4	61	6.1

Для бензольного фрагмента результаты модельных расчетов колебательных состояний полностью согласуются с отношением для орто-замещенных бензола [17] и квантовыми расчетами, представленными в публикациях [11; 12].

Образование димеров соединения влияет только на значения интенсивностей полос в спектрах ИК и КР этой группы фундаментальных колебаний. Для спектральной идентификации мономеров можно использовать интенсивность полосы

$\sim 1150\text{см}^{-1}$, интерпретированной как деформационное колебание связей СН (β). Для конформеров 2А, 2В она существенно выше. Для этих же конформеров на порядок выше интенсивность полосы $\sim 1560\text{см}^{-1}$, интерпретированной как колебание бензольного кольца (Q, γ, β) [17], а также полосы $\sim 1060\text{см}^{-1}$, интерпретированной как колебание связи СО карбоксильного фрагмента.

Использование расчетных значений ангармонических силовых констант ($F_{QQQ}=2550\text{--}2620\text{см}^{-1}$, $F_{QQOQ}=1480\text{--}1520\text{см}^{-1}$, $F_{\chi QOQ}=-1760\text{--}1540\text{см}^{-1}$), полученных в работах [11–13] для ряда ортозамещенных бензойной кислоты в формулах (3) и (4) дает основание считать величину $\sim 200\text{см}^{-1}$ достоверной оценкой ангармонического смещения полос валентного колебания связи ОН в мономерах карбоновых кислот.

Образование димеров с водородной связью ведет к смещению в длинноволновую область спектра полос, интерпретированных как симметричные и антисимметричные (Au) и симметричные (Ag) колебания валентные колебания связей ОН карбоксильного фрагмента, на величину $\sim 600\text{см}^{-1}$ и 800см^{-1} соответственно. При этом следует учитывать, что близость расчетных значений гармонических частот валентных колебаний связей ОН и СН в димерах карбоновых кислот может привести к перераспределению интенсивностей. Этот факт иллюстрируют табл. 4 и 5 (помечено *) как результат возможностей численных методов технологии Gaussian в случае, если энергетическая щель между колебательными состояниями менее величины в 10см^{-1} .

Таблица 4

Интерпретация валентных колебаний связей СН бензольного остова в мономерах и димерах аспирина

ν_r	$\nu_{\text{анг}}$	Мономеры		1A1A		1B1B		2A2A		2B2B	
		ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР
3212	3066	2.8-4.1	196-146	4.1	252	6.4	307	2.1	211	172	262
3200	3055	9.5-9.8	136-154	3.4	335	13	322	385	357	137	361
3190	3045	12-20	97-134	29	276	29	221	100	304	42	237
3175*	3031	3.0-3.7	64-72	2771	152	74	138	1.0	158	1.1	148

Таблица 5

Интерпретация колебаний карбоксильного фрагмента в димерах аспирина

Форма колебаний	ν_r	$\nu_{\text{анг}}$	1A1A	1B1B	ν_r	$\nu_{\text{анг}}$	2A2A	2B2B
			ИК	ИК			ИК	ИК
$Q_{\text{ОН}}^*$	3175	2925	2986	5723	3210	2960	5188	5232
$Q_{\text{C=O}}$	1739	1681	991	1114	1745	1687	993	940
$\beta_{\text{ОН}, \beta}$	1461	1416	56	64	1461	1416	115	168
$Q_{\text{CC}}, Q_{\text{CO}}, \beta_{\text{ОН}}^*$	1343	1302	963	768	1314	1265	623	425
$\chi_{\text{ОН}}$	1000	973	153	156	976	950	169	171
$\gamma_{\text{OCO}, \gamma}$	806	785	34	19	804	784	47	38
$\gamma_{\text{OCO}, \gamma}$	672	656	31	26	681	664	33	46
	ν_r	$\nu_{\text{анг}}$	КР	КР	ν_r	$\nu_{\text{анг}}$	КР	КР
$Q_{\text{ОН}}$	3074	2728	979	1027	3112	2762	1061	1083
$Q_{\text{C=O}}$	1689	1633	215	218	1696	1640	263	233
$\beta_{\text{ОН}, \beta}$	1509	1462	35	39	1498	1451	47	36
$Q_{\text{CC}}, Q_{\text{CO}}, \beta_{\text{ОН}}$	1346	1306	42	63	1305	1267	58	38
$\chi_{\text{ОН}}$	952	927	0.5	1.2	935	911	1.6	2.6
$\gamma_{\text{OCO}, \gamma}$	809	788	9.4	2.6	793	773	12	2.9
$\gamma_{\text{OCO}, \gamma}$	665	649	1.3	2.7	676	661	0.7	2.3

Таблица 6

**Интерпретация колебаний связей бензольного фрагмента (C₆H₄)
в мономерах и димерах аспирина**

Форма колебаний	ν_r	$\nu_{анг}$	Мономеры		1A1A		1B1B		2A2A		2B2B	
			ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР
Q, γ , β	1650	1596	42–62	36–49	186	164	186	148	93	114	91	99
Q, γ , β	1619	1567	3.7–19	5.4–13	4.0	8.6	9.2	12	76	30	62	32
β ,Q	1520	1473	23–64	2.6–4.9	38	1.1	68	3.7	89	5.6	125	6.6
β ,Q	1488	1442	19–85	1.3–4.1	259	35	345	26	9.7	13	63	12
Q, β *	1337	1297	7.7–11	4.2–8.2	105	76	58	48	362	58	401	59
β	1299	1260	59–6.4	0.6–1.1	46	28	20	22	32	0.4	27	3.8
β	1186	1152	40–191	16–11	134	29	166	31	160	18	345	2.7
Q, β	1145	1112	31–90	1.2–1.3	82	0.7	63	0.6	137	2.4	114	1.5
γ ,Q _{ос}	927	903	45–80	4.2–3.3	82	7.5	123	11	77	5.4	128	9.2
ρ	747	728	41–54	9.2–13	55	25	34	25	45	23	72	11
χ , ρ _{со}	725	707	53–66	5.3–9.7	39	5.5	45	4.7	39	5.6	41	4.3

В коротковолновый диапазон на величину $\sim 300 \text{ см}^{-1}$ смещаются полосы, интерпретированные как крутильные колебания связей ОН карбоксильного фрагмента ($\chi_{ОН}$). Для спектральной идентификации пригодна полоса $\sim 970 \text{ см}^{-1}$ в ИК-спектре димеров.

Как и в случае мономеров, для оценки ангармонического смещения полос валентных колебаний связей ОН в димерах карбоновых кислот воспользуемся оценкой кубических и четвертичных силовых постоянных для димеров ряда замещенных бензойной кислоты, представленной в работах [11–13] ($F_{QQQ} \sim 2020 \text{ см}^{-1}$, $F_{QQO} \sim 910 \text{ см}^{-1}$, $F_{xQQ} \sim -570 \text{ см}^{-1}$). Расчеты по формулам (3) и (4) приводят к оценке ангармонического смещения $\Delta\nu \sim -350 \text{ см}^{-1}$ для симметричных (Ag) и $\Delta\nu \sim -30 \text{ см}^{-1}$ для антисимметричных (Bu) колебаний. Эти оценки и использованы в табл. 5 ($\nu_{анг}$). Заметим, что они существенно отличаются от результатов использования процедуры масштабирования [18].

Данные, представленные в табл. 4, частично снимают проблему интерпретации колебательного спектра димеров карбоновых кислот в диапазоне свыше 2500 см^{-1} .

Действительно, достоверную оценку положению полос, отнесенных к валентным колебаниям связей СН бензольного остова, позволяет получить анализ колебательных спектров мономеров бензойной кислоты и ее замещенных. Согласно результатам, представленным в публикациях [9–13], нет оснований подвергать сомнению результаты предсказательных возможностей метода функционала плотности DFT/b3LYP

для интерпретации спектра фундаментальных колебаний мономеров карбоновых кислот. Более того, для мономеров карбоновых кислот в качестве предварительной оценки ангармонического смещения полос можно использовать процедуру масштабирования [18] вычисленных в гармоническом приближении частот фундаментальных колебаний в рамках метода DFT/b3LYP. Параметры масштабирования соотношения, предложенные для шестичленных циклических соединений в работе [9], позволяют учесть влияние ангармонизма колебаний в хорошем соответствии с расчетами колебательных спектров ряда мономеров карбоновых кислот в ангармоническом приближении.

Заключение

Проведенные модельные расчеты для мономеров и димеров ацетилсалициловой кислоты, сравнение с результатами теоретической интерпретации экспериментальных данных ряда замещенных бензойной кислоты дают основание утверждать, что предлагаемая методика анализа колебательных состояний димеров карбоновых кислот в высокочастотном диапазоне может быть использована для построения структурно-динамических моделей данного класса соединений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Antony J. Anharmonic midinfrared vibrational spectra of benzoic acid monomer and dimer / J. Antony., G. Helden, G. Meijer, B. Schmidt // J. Chem. Physics. – 2005. – V. 123. – P. 1–11.

2. Mukherjee V. Experimental and calculation aspects of vibrational spectra and optimized geometry of 2,3,4-tri-fluorobenzoic acid dimer / V.Mukherjee, N.P.Singh, R.A. Yadav // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. – 2009. – V. 74. – № 5. – P. 1107–1114.
3. Olbert-Majkut A, Raman spectroscopy of formic acid and its dimers isolated in low temperature argon matrices / A.Olbert-Majkut, J.Ahoras, J.Lundell, M.Petterson // *Chemical Physics Letters*. – 2009. – V.468. – P. 176–183.
4. Durlak P. Cal-Parinello molecular dynamics and density functional Theory simulation of infrared spectra for acetic acid monomers and cyclic dimers /P.Durlak, Z.Latajka// *Chemical Physics Letters*. – 2009. – V.477. – P. 249–254.
5. Brandána S.A. Theoretical and experimental vibrational spectrum study of 4-hydroxybenzoic acid as monomer and dimer / S.A.Brandána, F.Márquez López, M.Montejob, J.J.López González, A.Ben Altabefa // *Spectroch. Acta*. – 2010. – V.75. – N.5. – P. 1422–1434.
6. Binev I.G. The infrared spectra and structure of acetylsalicylic acid (aspirin) /I.G. Binev, B.A.Stambolycka, Y.I. Binev // *J. Mol. Structure*. – 1996. – V.378. –N.4. – P.189–197.
7. Boszar M. Theoretical modeling of infrared spectra of aspirin and its deuterated derivative / M.Boszar, M.J.Vojcik, K.Szczeponek, D.Jamroz, A Zieba., B. Kawalek // *Chem Physic*. – 2003. – V.286. – N.1. – P.63–79.
8. Bunaian A.A. FT-IR spectrophotometric analysis of acetylsalicylic acid and its pharmaceutical formulations / A.A.Bunaian, H.Y., S. Abool-Enein Flischin // *Canadian Journal of analytical Sciences and spectroscopy*. – 2006. – V.51. – P.253–259.
9. Элькин, М. Д. Моделирование адиабатических потенциалов карбоновых кислот / М. Д. Элькин, Т. А. Шальнова, В. Ф. Пулин // *Вестник Саратов. гос. тех. ун-та*. – 2009. – № 1(37). – С. 109–114.
10. Эрман, Е. А. Модельные оценки ангармонического смещения полос в колебательных спектрах димеров карбоновых кислот / Е. А. Эрман, М. Д. Элькин, Е. А. Джалмухамбетова // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. – 2010. – № 4(12). – С. 53–58.
11. Эрман, Е. А. Моделирование структуры и спектров замещенных бензойной кислоты / Е. А. Эрман, М. Д. Элькин, О. Н. Гречухина, А. М. Лихтер // *Естественные науки*. – 2011. – № 1(34). – С. 206–212.
12. Элькин, М. Д. Структурно-динамические модели димеров бензойной и изоникотиновой кислот / М. Д. Элькин, Д. М. Нуралиева, И. И. Гордеев // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. – 2011. – № 1(13). – С. 35–42.
13. Элькин, М. Д. Учет ангармонического смещения полос в модельных расчетах колебательных спектров димеров с водородной связью / М. Д. Элькин, Л. М. Бабков // *Изв. Саратов. гос. ун-та*. – 2011. – Т. 11. – Вып. 1. – С. 20–25.
14. Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B. et al. Gaussian 03. Revision B.03. / M.J. Frisch, G.W.Trucks, H.B. Schlegel et al. – 2003. – Pittsburg PA: Gaussian Inc
15. Hoy A.R. Anharmonic force constants calculation / A.R.Hoy, I.M.Mills, G.Strey // *J. Mol. Phys*. – 1972. – Vol.21. – N.6. – P.1265–1290.
16. Элькин, М. Д. Математические модели в молекулярном моделировании / М. Д. Элькин, В. Ф. Пулин, А. Б. Осин // *Вестник Саратовского Гос.тех.ун-та*. – 2010. – № 4 (49). – С. 36–39.
17. Свердлов, Л. М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л. М. Свердлов, М. А. Ковнер, Е. П. Крайнов. – М.: Наука. – 1970. – 550 с.
18. Краснощеков, С. В. Масштабирующие множители как эффективные параметры для коррекции неэмпирического силового поля / С. В. Краснощеков, Н. Ф. Степанов // *Журнал физической химии*. – 2007. – Т. 81. – № 4. – С. 680–689.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.021

С. А. Быков, В. Г. Леонтьев, В. Н. Скакунов

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ОБЛАКОВ ТРЕХМЕРНЫХ ТОЧЕК В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ РОБОТОВ*

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: svn@vstu.ru

В статье рассматривается алгоритм предобработки и распознавания облаков трехмерных точек, получаемых со стереокамер и различных дальномеров. Для классификации объектов предложено использовать метод опорных векторов. Разработано программное обеспечение для приема и анализа данных, использующее методы и функции библиотек PCL и метапакета ROS.

Ключевые слова: мобильный робот, компьютерное зрение, облака точек, метод опорных векторов.

S. A. Bykov, V. G. Leontev, V. N. Skakunov

APPLICATION OF 3D POINT CLOUD ANALYSIS METHODS TO COMPUTER VISION SYSTEMS FOR ROBOTS

Volgograd State Technical University

The article deals with preprocessing and recognition algorithms of 3d point clouds. Support vector machine is used to classify objects. Software for receiving and processing data was developed with methods and functions from PCL library and ROS metapackage.

Keywords: mobile robot, computer vision, 3D point clouds, support vector machine.

Введение

Возможности современных робототехнических комплексов позволяют заменять человека при решении широкого круга задач. Особенно это актуально в ситуациях, когда присутствие человека или нежелательно, или невозможно. Автономный режим работы, способность самостоятельно принимать необходимые решения для шагающих машин, мобильных роботов с разными типами движителей в значительной степени зависят от эффективности системы технического зрения (СТЗ), интегрированной в общую систему управления роботом [1; 4].

Повысить эффективность распознавания препятствий позволяет включение в процедуру сравнения алгоритмов поиска локальных особенностей, таких как SURF, SIFT, MSER или их модификаций. Данные алгоритмы выделяют на изображении не весь объект, а только некоторые точки, которые позволяют с большей достоверностью идентифицировать объект при сравнении с заранее определенным типом препятствий.

Применение этих алгоритмов неизбежно приводит к увеличению времени обработки изображений. Кроме того, для бортовой системы актуальной становится проблема вычислительной реализуемости алгоритма. С целью сравнения скорости работы алгоритмов SURF и SIFT были разработаны программы, реализующие эти алгоритмы с использованием библиотеки OpenCV. Оценка времени обработки изображений с помощью этих алгоритмов, проведенная на компьютере с двухядерным процессором и расширенной памятью показала, что алгоритм SURF обрабатывает изображение в среднем на 60–70 % быстрее, чем алгоритм SIFT. Абсолютное время зависит от вычислительных ресурсов компьютера. В то же время расчеты показали, что метод эффективен при работе с плоскими и выделяющимися на сцене объектами, например, с уникальным рисунком или текстурой [2; 3].

Постановка задачи

В настоящей работе рассматривались иные подходы к распознаванию образов, позволяю-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-08-00301-а).

щие работать с объемными предметами. С этой целью для обработки изображений был применен метод анализа облака трехмерных точек, который позволяет роботу принимать определенные решения по информации от стереокамеры. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) реализовать предобработку данных;
- 2) обучить классификатор;
- 3) сформировать логику управления платформой.

В качестве исходных данных об окружающем робота пространстве в работе предлагается использовать облака трехмерных точек, которые можно получить при применении стереокамер и дальномеров. Последующая обработка данных в рассматриваемом методе разделяется на ряд этапов, показанных на схеме алгоритма (рис. 1), и приводящих к постепенной трансформации изображения (рис. 2–5).

Разработка алгоритма идентификации объекта

Этап 1. Получение данных

Для шагающего робота крайне важно понятие формы и геометрических размеров предмета, например, для вычисления высоты и глубины ступенек. Моноскопические изображения от обычных видеокамер дают неполную информацию [6]. Поэтому в качестве сенсорной системы предлагается использовать стереокамеру, в частности, MSKinect. Данное устройство состоит из двух датчиков глубины и цветной видеокамеры. Датчик глубины представляет собой систему из инфракрасного проектора и монохромной КМОП-матрицы.

Этап 2. Фильтрация

На данном этапе обработки облака точек производится удаление лишней информации. В силу низкой скорости перемещения платформы, анализ далеких объектов не представляет интереса. Для экономии вычислительных ресурсов и повышения точности анализа, со сцены удаляются все объекты, расположенные дальше 3 м. Также сужается поле зрения робота (удаляются точки слева и справа от машины). Кроме того, это допущение позволяет существенно снизить количество шумов.

Этап 3. Уменьшение плотности облака

Анализ множества трехмерных точек весьма ресурсоемкая задача. Для ускорения обработки можно сократить число точек в облаке, с минимальной потерей информации о сцене.

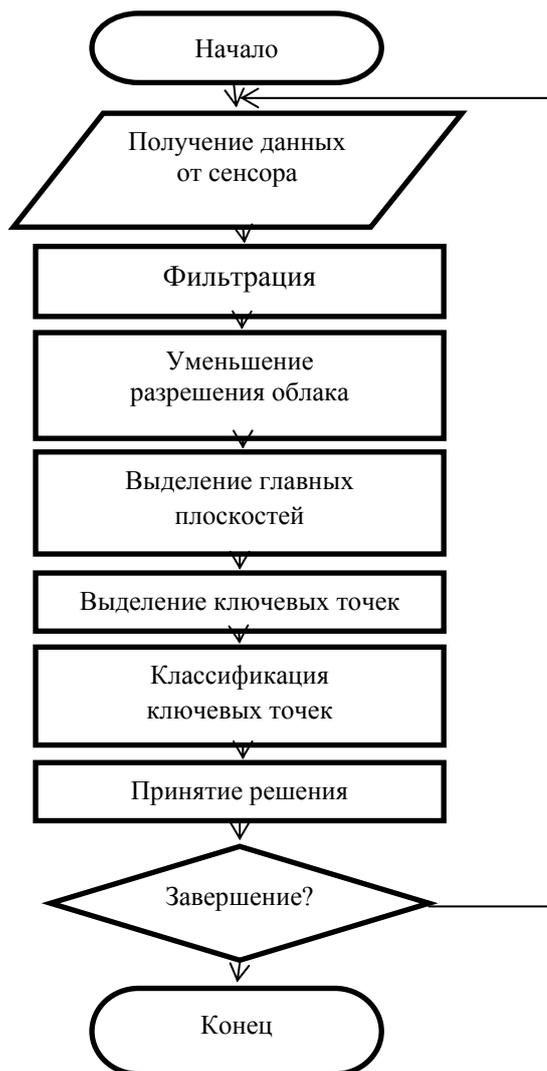


Рис. 1. Схема алгоритма обработки изображения

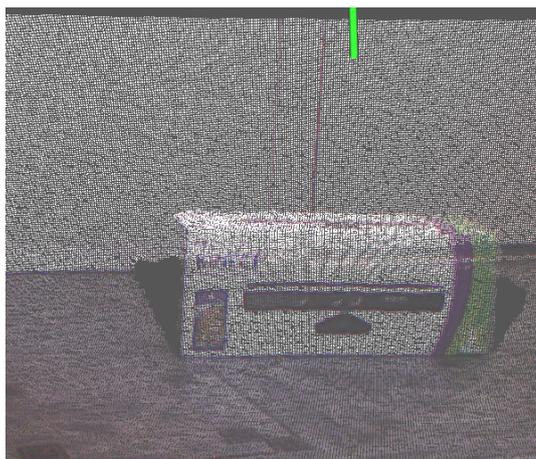


Рис. 2. Облако точек, полученное с камеры MSKinect. В качестве объекта для распознавания используется коробка из-под камеры

Для этого применяется так называемая воксельная сетка (voxelgrid) [5]. Сцена разбивается на кубы заданного размера (воксели), из ко-

торых удаляются все точки, кроме ближайшей к центру выделенного объема. Такой подход позволяет аппроксимировать информацию, содержащуюся в облаке. В результате, число точек для дальнейшего анализа сокращается в среднем в 5–10 раз.

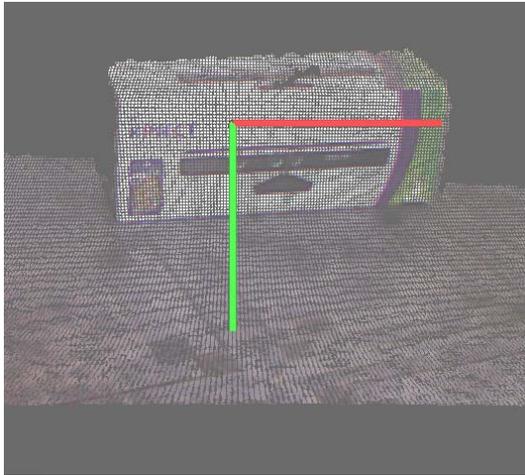


Рис. 3. Фильтрация изображения

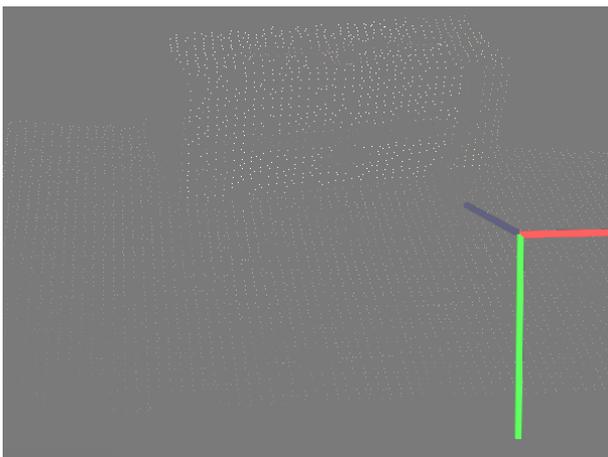


Рис. 4. Уменьшение плотности облака

Этап 4. Выделение главных плоскостей

Следующим важным этапом является выделение главных (наибольших) плоскостей. Это позволяет разделить точки, относящиеся к различным объектам, в частности, лестницам и различным препятствиям, и принадлежащие полу и стенам. Такое решение позволяет снизить влияние лишних точек при анализе объектов. Также появляется возможности иначе обрабатывать стены, например, оценивать расстояние до них, не усложняя процесс классификации.

Для выделения плоскостей используется метод RANSAC (RANdom Sample Consensus)

[4; 7]. Это – метод оценки параметров модели, основанный на случайных выборках, дает стабильный результат. В ходе работы случайным образом выбираются три точки, через которые проводится плоскость. Затем проверяется, сколько других точек попадает в окрестности полученной фигуры (чем их больше – тем правдоподобнее считается модель).

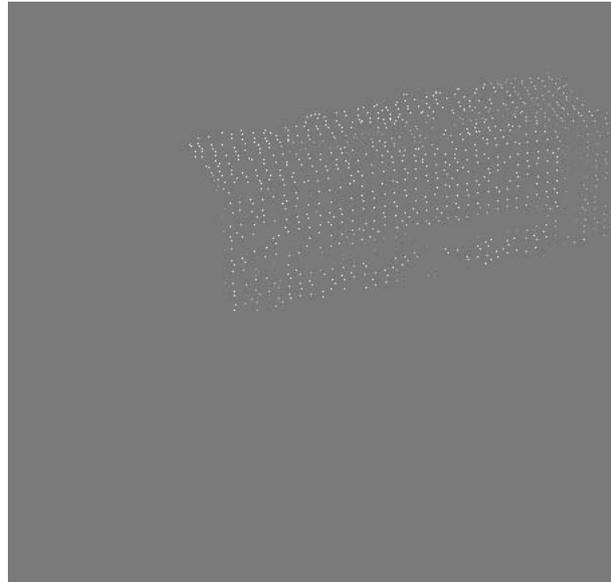


Рис. 5. Удаление главных плоскостей

Этап 5. Выделение ключевых точек

В данной работе используются ключевые точки VOSCH (Voxelized Shape and Color Histograms). Это – дескриптор, который представляет собой 137-мерную гистограмму, описывающую соотношение нормали к поверхности и ее цвета. На рис. 6 приведен пример такого дескриптора, где на оси абсцисс отмечены коэффициенты цвета предмета, а на оси ординат – коэффициент, описывающий форму предмета. Каждый пик на графике отображает одно из 137 измерений. Наиболее интересным свойством этого вида ключевых точек является инвариантность к повороту объекта.

Этап 6. Классификация ключевых точек

С другой стороны, VOSCH-дескриптор можно представить как вектор из 137 чисел с плавающей запятой, который описывает строение объекта. Для классификации такого типа данных в работе предлагается использовать метод опорных векторов (SVM – support vector machine). В данном методе строится пространство, в котором каждый дескриптор представля-

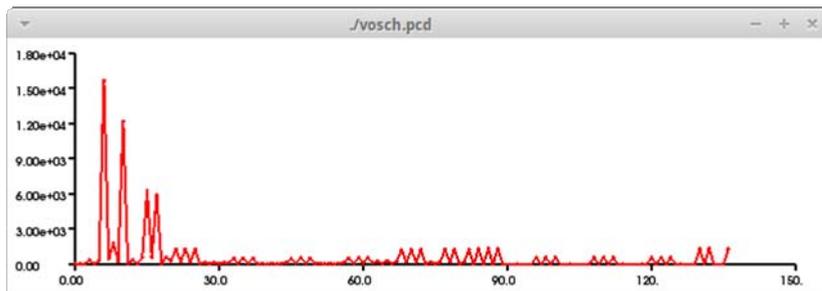


Рис. 6. Гистограмма VOSCH для коробки MSKinect

ляет собой точку. После этого классификатор подбирает весовые коэффициенты таким образом, чтобы каждый позитивный и негативный классы дескрипторов можно было разделить границей. На рис. 7 показан пример такой классификации. Каждая точка представляет собой отдельное изображение некоего предмета, в данном случае это ступеньки и коробка от сен-

сора MSKinect. Сплошная кривая разделяет дескрипторы класса «ступенька» (на рисунке отмечены плюсами) от дескрипторов класса «коробка» (отмечены кружками). Результатом работы классификатора являются идентификаторы, указывающие на принадлежность VOSCH-гистограммы к определенному классу предметов.

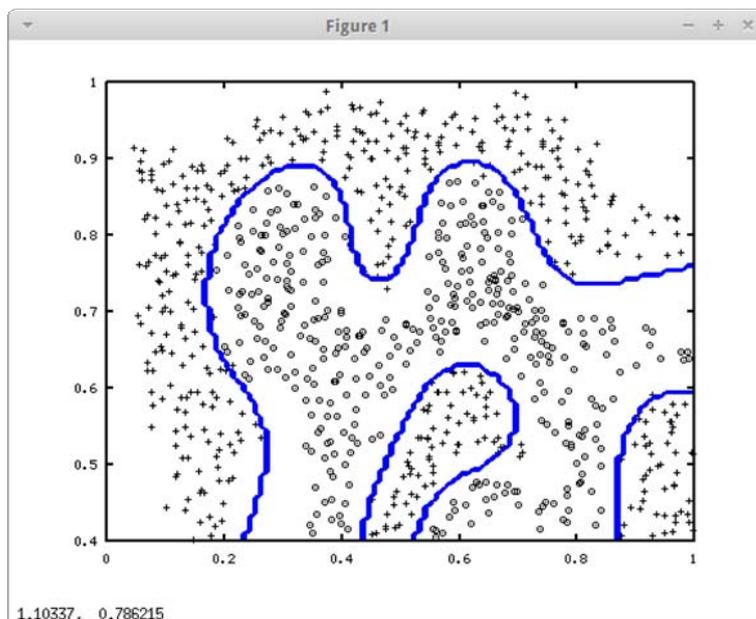


Рис. 7. Пример работы SVM для классификации двумерных данных

В рассмотренном примере каждая точка обладает двумя признаками, которыми могут быть, в частности, координаты по осям абсцисс и ординат. Сплошная кривая на рис. 7 разделяет два класса данных.

Заключение

Для подвижной платформы большое значение имеет время обработки отдельных кадров от видекамеры, определяющее требования к производительности бортовой вычислительной системы. Была проведена серия экспериментов, состоящая из анализа 100 кадров, цель которых

заключалась в измерении скорости и точности распознавания различных объектов. В ходе экспериментов замерялось время, затраченное на отдельных этапах работы алгоритма при обработке каждого кадра. Результаты этих измерений приведены в таблице. Эксперименты проводились на ноутбуке с процессором Intel SU7300 на тактовой частоте 1,3 ГГц.

Полученные результаты показывают, что предложенный алгоритм обладает достаточным быстродействием и довольно высоким уровнем распознавания. Однако для работы в реальном времени потребуется более высокая скорость

Виды объектов	Этапы работы						Всего, с	Точность, %
	Фильтрация, с	Уменьшение плотности, с	Выделение плоскостей, с	Удаление шумов, с	VOSCH, с	SVM, с		
Коробка Kinect	0,01	0,38	0,0	0,09	0,22	0,01	0,71	72,3
Дверной проем	0,02	0,29	0,02	0,07	0,2	0,02	0,62	67,7
Ступеньки	0,02	0,36	0,02	0,09	0,15	0,02	0,66	58,9
Среднее время, с	0,02	0,34	0,01	0,08	0,19	0,02	0,66	

обработки, которая может быть получена за счет ускорения работы алгоритма при переносе вычислительно сложных этапов, в особенности уменьшения плотности облака и получения ключевых точек, на графические ускорители, а также при использовании технологии CUDA.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адаптация алгоритмов технического зрения для систем управления шагающими машинами / С. А. Быков, А. В. Еременко, А. В. Гаврилов, В. Н. Скакунов // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 3(76) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 10). – С. 52–56.

2. Использование контурного анализа в задаче контроля качества образивных материалов / В. А. Камаев, П. П. Кудряшов, А. А. Стец // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11(71) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вы-

числительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 53–56.

3. Применение алгоритмов машинного зрения для получения панорамного изображения медико-биологического препарата при микроскопии / Е. М. Артемьев, О. О. Привалов, И. В. Степанченко, В. О. Петров // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 11(71) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 44–46.

4. Hartley R., Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision – 2nd. – Cambridge University Press, 2003. – 672 p.

5. Rusu R. B. Semantic 3D Object Maps for Everyday Manipulation in Human Living Environments – Computer Science Department, Technische Universitaet Muenchen, Germany, 2009.

6. Rusu R. B., Sundaesa A., Morisset B., Agrawal M., Beetz M. Leaving Flatland: Realtime 3D Stereo Semantic Reconstruction – In Proceedings of ICIRA (1)2008. – 2008, pp. 921–932.

7. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications – Springer-Verlag New York, LLC, 2010. – 979 p.

УДК 004.4’236

Д. А. Ереско, О. А. Шабалина

ЯЗЫК ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: Eresko.Dmitriy@gmail.com, O.A.Shabalina@gmail.com

В данной статье описано развитие языка визуального программирования для формирования поведения интеллектуальных агентов, концепция которого была предложена авторами ранее. Показаны улучшения базовой версии и присвоены новые элементы языка – описание взаимодействия парадигм программирования, введение строгой типизации и добавление элементов функционального программирования, описание способов формирования элементов языка, не приведенных ранее. Приведен пример описания поведения интеллектуального агента, демонстрирующий возможности текущей версии.

Ключевые слова: визуальное программирование, язык визуального программирования, интеллектуальные агенты, алгоритмы поведения.

D. A. Eresko, O.A. Shabalina

VISUAL PROGRAMMING LANGUAGE FOR DEVELOPMENT OF INTELLIGENT AGENTS BEHAVIOR

Volgograd State Technical University

In this paper we describe modification of visual programming language for intellectual agents’ behavior development that we introduced in the previous publication. Improvements of the basic version and new elements of the language are suggested including the interaction between programming paradigms, strong typing, elements of functional programming, language elements description. An example demonstrating the possibilities the language is shown.

Keywords: visual programming, visual programming language, intelligent agent, algorithms behavior.

Введение

В настоящее время широкое применение для решения различных задач находит мультиагентный подход. Использование этого подхода основано на применении интеллектуальных агентов (ИА). Под *ИА* принято понимать программные объекты, обладающие определенным поведением и способные к взаимодействию друг с другом. Разработка алгоритмов поведения ИА с использованием классических способов (кодирование) является трудоемким процессом и требует высокой квалификации программиста. В настоящее время развиваются новые подходы к разработке алгоритмов поведения ИА, основанные на визуальном программировании, которые оказываются более удобными и эффективными. Однако они пока недостаточно хорошо проработаны. Поэтому развитие языков визуального программирования, пригодных для широкого использования, является актуальной задачей.

1. КОНЦЕПЦИЯ ЯЗЫКА ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Для упрощения и ускорения процесса разработки алгоритмов поведения ИА людьми, не обладающими достаточной квалификацией в области программирования, авторами предложена концепция языка визуального программирования. К настоящему времени разработана первая версия языка и способ формирования алгоритмов поведения ИА с использованием разработанного языка [1; 2]. Язык является мультипарадигменным и включает элементы объектно-ориентированного, сенсорного и структурного программирования.

Каждый агент в соответствии с объектно-ориентированной парадигмой представляет собой экземпляр класса, обладающий определенным набором правил поведения и свойств. Для создания новых агентов предусмотрен механизм расширения – наследование. Агенту-потомку переходят все правила поведения и свойства агента-родителя, при этом правила поведения можно переопределять, а также добавлять новые.

Для описания правил поведения агента используется сенсорная парадигма, основанная на правилах вида <восприятие><действие> [3]. Формат представления правил имеет вид: <сенсор>[<фильтр>...]<алгоритм действия>[<модификатор>...].

Элемент <алгоритм действия> представляет собой элементарное действие (базовый атом

действия) или алгоритмическую конструкцию (последовательность, ветвление или цикл), заполненную другими атомами действия и атомами условия. Атомы условия, в свою очередь, состоят из выражений и операции сравнения, а выражения – из переменных. Язык дает возможность расширяемым, что достигается за счет возможности описания элементарных действий на традиционных языках программирования. Язык дает возможность формировать императивное поведение ИА. Иерархический способ представления алгоритмов действий, условий и выражений позволяет полностью избавиться от ошибок времени компиляции и выполнения за счет использования заведомо верно работающих атомов условия.

Однако первая (базовая) версия языка не отражает взаимодействие сенсорной, структурной и объектно-ориентированной парадигм программирования; недостаточно подробно описана типизация и взаимодействие с переменными языка программирования; не описан способ формирования элементов <сенсор> и <фильтр>.

В данной статье представлена вторая версия языка визуального программирования, включающая модификацию первой концепции и дальнейшее развитие

2. РАЗВИТИЕ ЯЗЫКА ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

2.1. Элементы функционального программирования

Связующим звеном между парадигмами программирования являются переменные, введенные в базовой версии языка визуального программирования. С одной стороны переменные являются свойствами агентов-классов, а с другой – они могут быть аргументами атомов действия. Для организации работы с переменными была выбрана парадигма функционального программирования, в которой процесс вычисления трактуется как вычисление значений функций в математическом понимании последних [4]. Основные преимущества этой парадигмы – надежность, декларативный способ описания и возможность автоматического распараллеливания вычислений позволяют существенно повысить контроль над визуальным языком и эффективность его выполнения.

Для более четкого отражения семантики понятие <переменная>, введенное в базовой версии языка, заменено на элемент <значение>. Введена также строгая типизация значений, по-

звляющая повысить надежность выполняемого кода, т. е. типизация используется как средство переноса возможных ошибок со стадии выполнения на стадию компиляции [5]. Введены следующие типы <значений>:

- число (знаковое целое число или число с плавающей точкой);
- логическое значение (содержит значение истина или ложь);
- текст (последовательность символов);
- перечисление (одно из значений из заданного набора);
- период времени (содержит количество секунд, минут, часов, дней);
- объект (элемент внешнего для агента мира, является базовым классом для агента).

Выражения могут состоять только из значений числового типа и, следовательно, сами являются числовыми значениями. Содержимым атомов условия теперь являются значения, а не выражения.

2.2. Свойства

Для управления доступом к свойствам ИА, в соответствии с объектно-ориентированной парадигмой программирования [6], свойства разделены на *открытые* и *закрытые*. Открытые свойства доступны для чтения другими агентами, закрытые свойства – для внутренних манипуляций. Примером открытого свойства может служить количество жизней персонажа в компьютерной игре, а закрытого – счетчик очков. Такое разделение позволяет уменьшить количество ошибок при разработке агентов.

Свойства являются изменяемыми значениями, прикрепленными к каждому экземпляру агента. Поэтому свойства также являются строго типизированными. Им можно задать начальное значение. На рис. 1 показано графическое представление открытых и закрытых свойств с заданными начальными значениями.

Так как функциональная парадигма программирования не предусматривает операций

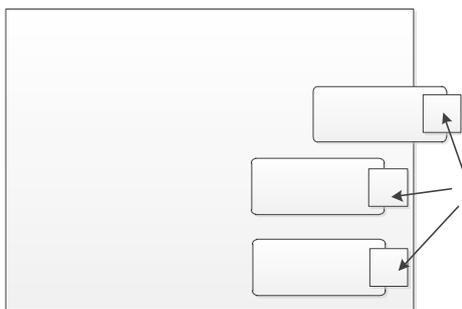


Рис. 1. Графическое представление свойств

присваивания, для модификации свойств введены специальные атомы действия (например, «увеличить на», «уменьшить на», «установить значение», «обнулить», «установить случайное значение»). В качестве модифицируемого значения может выступать только значение такого же типа, что и свойство, что исключает возможность появления ошибок приведения типов. При наследовании открытые свойства остаются открытыми, закрытые – закрытыми. Целочисленные свойства можно использовать для построения выражений.

Сенсоры

В текущей версии языка введены типы сенсоров и добавлены способы их формирования. Сенсоры разделены на четыре типа: заранее определенные, сенсоры сообщений, сенсоры самонаблюдения, сенсоры-таймеры.

Заранее определенные сенсоры и сенсоры сообщений являются каналом связи, способом получения информации из внешнего мира (например, позволяют видеть, слышать или получать информацию от других агентов). Заранее определенные сенсоры описаны на традиционных языках программирования и характеризуют способ получения информации извне (например, сенсор «видеть других агентов»). Сенсоры сообщений создаются без программирования. В этом случае их необходимо поименовать; после чего можно получать сообщения от других агентов, отправленные по этому каналу связи.

Сенсоры самонаблюдения срабатывают при изменении внутреннего состояния агента позволяют выполнять действия при изменении или достижении определенного значения свойства ИА. В качестве содержимого такого сенсора выступает атом условия или свойство непосредственно (рис. 2).

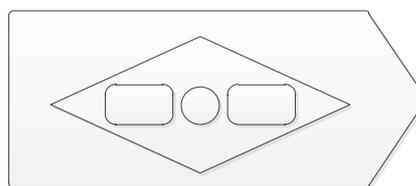


Рис. 2. Пример графического представления сенсора самонаблюдения

Сенсоры-таймеры являются механизмом выполнения периодических действий. Для периодического выполнения действия необходимо указать сенсор таймер и фильтр с периодом выполнения действия (рис. 3).



Рис. 3. Пример графического представления сенсора-таймера и фильтра с указанием периода

2.3. Фильтры

В базовой версии языка элемент <восприятие> описывает случай, при котором необходимо выполнить действие. Элемент <восприятие> можно представить в виде <сенсор> [<фильтр> ...], где <сенсор> – способ получения информации; <фильтр> – механизм выбора

информации. Применение базовой версии языка для описания нескольких примеров показало, что такой способ формирования восприятия оказался громоздким – каждый набор <сенсор> [<фильтр> ...] занимает собственное место и приводит к большой доле дублирования элементов.

Для более компактного представления агента предложен иерархический способ описания восприятий. Теперь для каждого сенсора можно задать несколько наборов фильтров, и сами фильтры могут передавать значения нескольким фильтрам более низкого уровня иерархии (рис. 4).

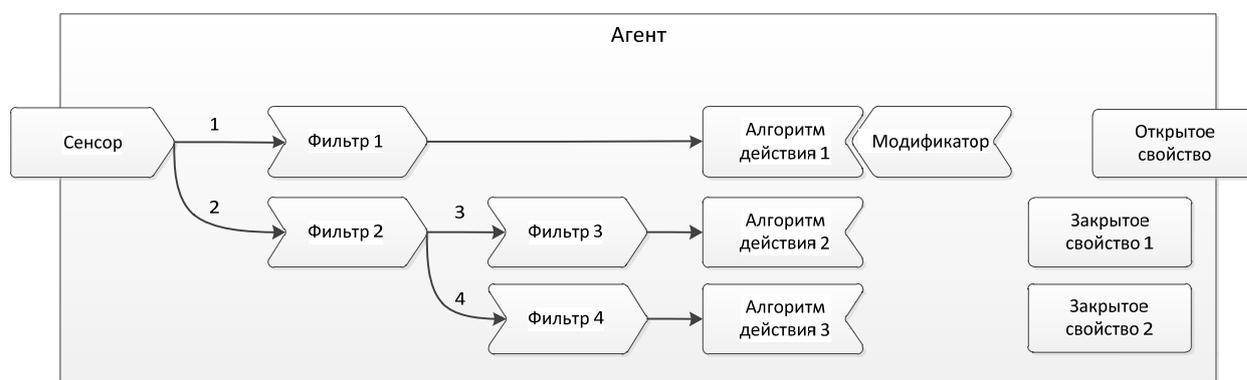


Рис. 4. Приоритет проверки фильтров

Последовательность описания фильтров определяет приоритет их проверки. При срабатывании всей цепочки выполняется соответствующий алгоритм действия. Сенсор передает агенту список всех «захваченных» объектов (объектов, попадающих в радиус действия сенсора) или сообщений. Некоторые алгоритмы действия совершают операцию только над одним объектом, например, «идти к». Выполнение действия «идти к» для нескольких объектов приводит к неопределенности. Для разрешения этой неопределенности в текущей версии языка введены специальные фильтры (например, «ближайший», «дальний», «средний», «произвольный»). При отсутствии таких фильтров в описании восприятия, в случае необходимости, будет выбран произвольный объект.

В текущей версии языка введены типы фильтров – фильтры объектов, фильтры-условия, фильтры-таймеры – и добавлены способы их формирования: с помощью классических языков программирования (заранее определенные фильтры) и средств языка визуального программирования.

Реализация низкоуровневых задач, (напри-

мер, алгоритм поиска ближайшего объекта с препятствиями) может быть достаточно громоздкой на языке визуального программирования. Для решения этой проблемы предлагается использовать заранее определенные фильтры, написанные на традиционных языках.

Фильтры объектов позволяют определить, является ли объект объектом данного типа (например, если создать агент «враг», то появится фильтр «враг», благодаря которому можно строить конструкции типа «видишь врага»). Такие фильтры поддерживают приведение типов для потомков к родительскому типу (например, если агент «враг» унаследован от агента «персонаж», то фильтр, отслеживающий персонажей, отследит и врагов).

Фильтры-условия позволяют обращаться к собственным свойствам и свойствам других агентов. Содержимым фильтров-условий являются атомы условия. Над числовыми свойствами других агентов, как и над собственными, можно выполнять математические операции, результатом которых является числовое значение. Примером фильтра-условия может служить фильтр «здоровье врага < 10» (рис. 5).

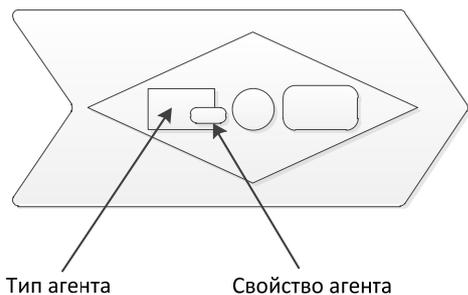


Рис. 5. Пример графического представления фильтра-условия

Фильтр-таймер представляет собой контейнер для значения типа «период времени» (рис. 3).

При наследовании действия потомка имеют больший приоритет, чем действия родителя.

2.4. Атомы действия

В базовой концепции языка использовались понятия <атом действия> и <алгоритм действия>. Однако результаты применения языка на тестовых примерах показали, что эти понятия во многом схожи. В связи с этим элементы <атом действия> и <алгоритм действия> были объединены: теперь в качестве <алгоритма дей-

ствия> выступают непосредственно <атомы действия>.

Модификатор является параметром для атома действия, который можно передавать внутренним атомам. В связи с этим было изменено графическое представление атома действия (рис. 6).



Рис. 6. Графическое представление атомов действия

Содержимым модификатора является значение. Параметрами атома действия могут выступать модификаторы только принимаемого типа. Возможна перегрузка атомов действия, т.е. определение одного и того же атома действия с разным набором параметров.

Например, при встрече с врагом можно выполнить атом действия «подойти к врагу» для ближнего боя или «подойти к союзнику» для совместной обороны. Действия вида «подойти и взять яблоко» и «подойти и взять» представлены на рис. 7.

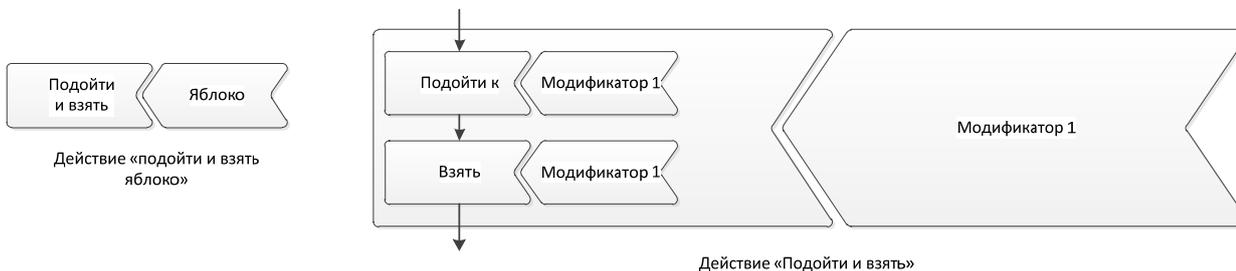


Рис. 7. Графическое представление действия «подойти и взять яблоко» и «подойти и взять»

Возможно существование атома действия с более чем одним модификатором. Для использования такого атома действия необходимо указывать соответствующее количество модификаторов.

Показанный на рис. 7 пример с действием «подойти и взять яблоко» является простой по-

следовательностью атомов действия (без ветвлений и циклов), поэтому это действие можно представить без создания атома действия.

Формирование поведения интеллектуальных агентов с использованием языка визуального программирования можно разделить на две составляющие: декларативное формирование поведения агента и формирование императивного алгоритма действия агента. Декларативное формирование поведения агента предназначено для управления агентом в целом и оперирует следующими элементами: сенсоры, фильтры, свойства и действия. Формирование императивного поведения, предназначенного для низкоуровневого управления реакциями агента на те или иные явления, оперирует терминами структурного программирования (ветвление, циклы).

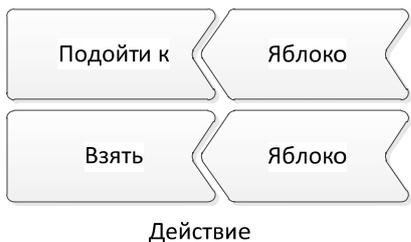


Рис. 8. Графическое представление действия «подойти и взять яблоко» без создания атома действия

3. ПРИМЕР ОПИСАНИЯ ИА

Возможности базовой версии языка показаны на примере описания объекта «Пылесос», который был заимствован из [7], модифицирован для иллюстрации концепции языка и приведен в [1]. Описание объекта включало следующие условия:

- агент «Пылесос» находится в двухмерном мире;
- в мире также находятся объекты «Мусор»;
- агент «Пылесос» должен собирать «Мусор»;
- для каждого мусора необходим пакет;
- количество пакетов ограничено;
- как только закончатся все пакеты, пылесос должен остановиться и издавать звуковой сигнал.

Для демонстрации возможностей текущей версии языка были введены дополнительные условия:

- количество пакетов для каждого пылесоса ограничено 10;

– при встрече с другим пылесосом агент должен «пожелать удачи», если тот еще не использовал все пакеты, или «порадоваться» в обратном случае;

– агенты могут проходить сквозь друг друга (агент «Пылесос» – материальная точка);

– агенты двигаются одновременно (перемещение агентов осуществляется параллельно);

– одновременный захват агентами объекта «Мусор» невозможен;

Поведение объекта, удовлетворяющее всем заданным условиям, можно представить следующими правилами:

– если увидел мусор, и количество пакетов не равно 0, то подойти к мусору, взять его и уменьшить количество пакетов на 1;

– если увидел другой пылесос, и количество пакетов не равно 0, то пожелать ему удачи фразой «Удачи»;

– если увидел другой пылесос, и количество пакетов равно 0, то порадоваться, сказав «Ура!»;

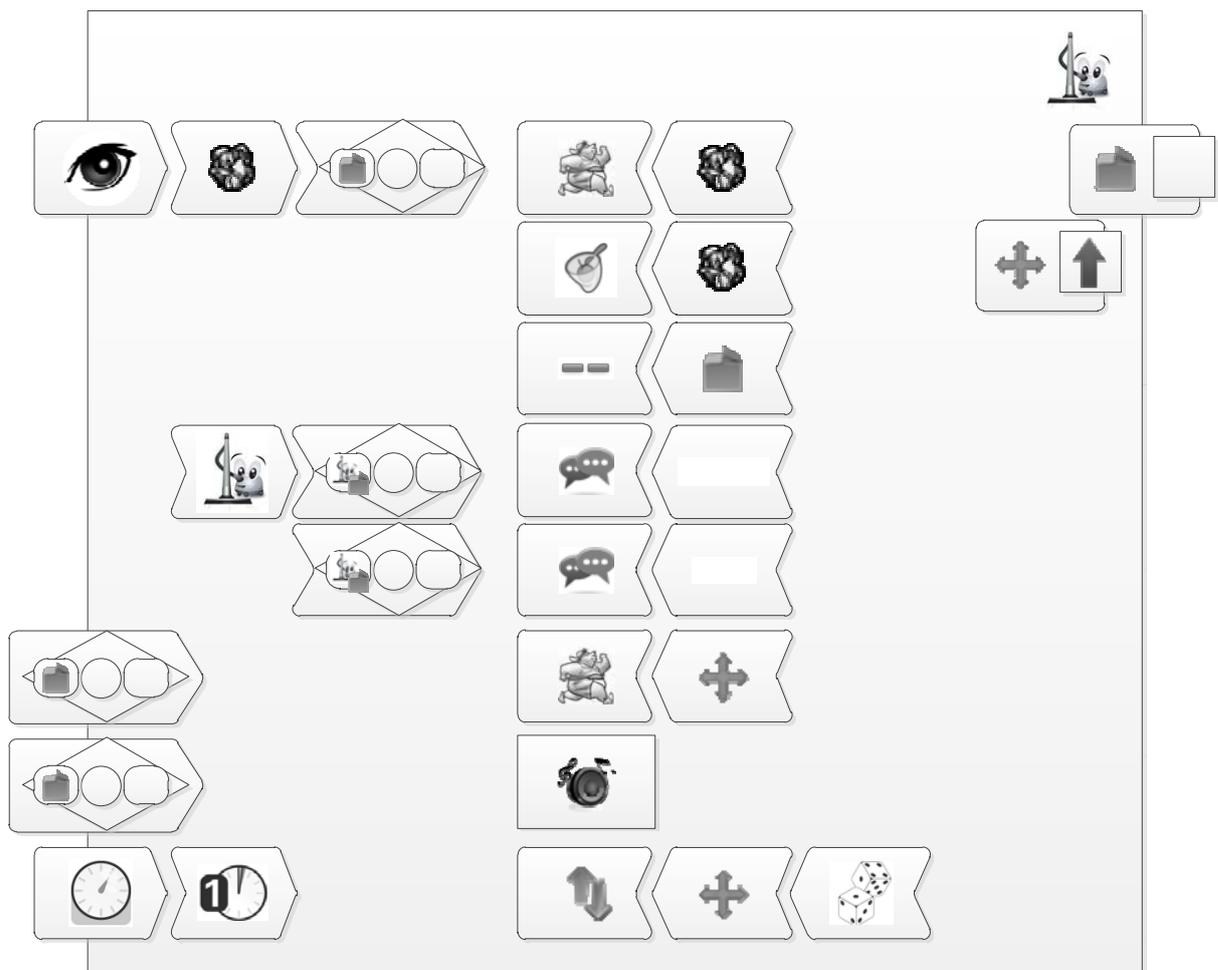


Рис. 9. ИА «Пылесос»

- если количество пакетов не равно 0, то продолжать двигаться в выбранном направлении;
- если количество пакетов равно 0, то издавать звуковой сигнал;
- каждую секунду (будем считать, что за секунду агент успевает передвинуться на не-

сколько шагов) меняем направление передвижения случайным образом.

Один из вариантов описания агента «Пылесос» на текущей версии языка представлен на рис. 9.

Описание графических элементов, использованных в рис. 9, приведено в таблице.

Описание графических представлений

Графическое представление	Тип	Название	Примечание
	Агент	«Пылесос»	–
	Заранее определенный сенсор	«Видишь»	–
	Объект	«Мусор»	–
	Атом действия	«Идти»	В одном случае в качестве параметра принимает объект и имеет смысл «идти к», во втором принимает значение перечисления направлений – «идти в направлении»
	Атом действия	«Взять»	В качестве параметра принимает объект
	Атом действия	«Уменьшить на 1»	В качестве параметра принимает свойство числового типа
	Свойство	«Количество пакетов»	Численный тип
	Перечисление	«Направления»	В качестве значений может принимать «Вверх», «Вниз», «Влево» и «Вправо»
	Значение	«Вверх»	Значение перечисления «Направления»
	Атом действия	«Сказать»	В качестве параметра принимает текст
	Атом действия	«Издать сигнал»	–
	Атом действия	«Установить значение»	В качестве параметров принимает свойство и значение такого же типа, как и свойство
	Значение	«Случайное значение»	–
	Значение	–	Обращение к свойству «Количество пакетов» агента «Пылесос».

На рис. 10 представлено взаимодействие элементов текущей версии языка визуального программирования.

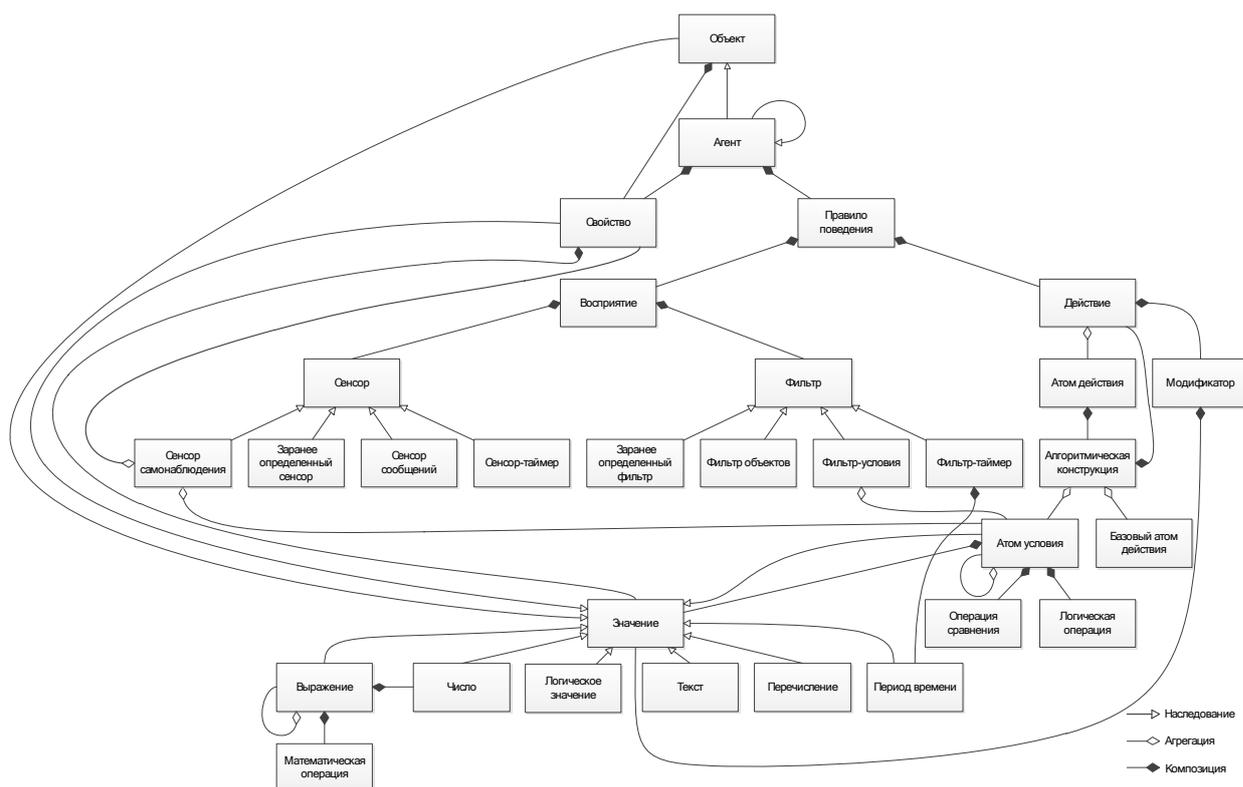


Рис. 10. Объектная модель языка визуального программирования

4. СРЕДА РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ ПОВЕДЕНИЯ ИА

Для реализации алгоритмов поведения ИА с использованием предложенного языка разработана концепция среды визуального программирования, предназначенная для формирования поведения ИА при решении различных задач. Среда визуального программирования представляет интегрированную среду разработки и включает в себя среду исполнения языка визуального программирования, подсистему редактирования поведения ИА, подсистему моделирования мультиагентной системы, подсистему визуализации виртуального мира, подсистему редактирования виртуального мира.

На данный момент реализовано программное ядро интегрированной среды разработки, подсистема визуализации виртуального мира, подсистема редактирования виртуального мира. Предполагается использование среды как самостоятельной системы, а также разработка механизмов ее интеграции со сторонними системами для обеспечения возможности формирования алгоритмов поведения ИА.

Заключение и перспективы

Для оценки возможностей текущей версии языка был использован тот же пример, что и для

демонстрации базовой версии языка, поведение которого было усложнено за счет добавления новых условий. Описание объекта с использованием текущей версии языка показало, что модификация языка (интеграция парадигм программирования, введение строгой типизации и добавление элементов функционального программирования, описание способов формирования элементов <сенсор> и <фильтр>) позволила реализовать все аспекты как базовой, так и усложненной версии примера поведения объекта.

В настоящий момент продолжается развитие языка визуального программирования для обеспечения возможности решения все большего класса задач, а также повышения уровня абстракции для упрощения создания более сложных агентов. Приоритетными направлениями дальнейшей работы является развитие существующих аспектов языка визуального программирования, добавление коллективного поведения агентов и интеллектуальности в их поведение, интеграция с элементами логического программирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Применение визуального программирования при разработке алгоритмов поведения интеллектуальных агентов / Д. А. Ерьсько, О. А. Шабалина // Известия Волгоград-

ского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9(82) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 11). – С. 74–79.

2. Eresko, D. A. Game for learning logical design / D. A. Eresko, O. A. Shabalina // Mobile Learning 2010 : proc. of the IADIS Int. Conf., March 19-21, 2010 / Int. Association for Development of the Information Society. – Porto (Portugal), 2010. – P. 346–350.

3. Stolee, K. T. Kodu Language and Grammar Specification [Electronic resource] / K. T. Stolee. – 2010. – Mode of access : <http://research.microsoft.com/en-us/projects/kodu/kodugrammar.pdf>.

dugrammar.pdf.

4. MacLennan, B. J. Functional Programming: Practice and Theory / B.J. MacLennan. – Addison-Wesley Professional, 1990. – 608 p.

5. Wirth, N. Systematic Programming: An Introduction / N. Wirth. – Prentice Hall, 1973. – 208 p.

6. Booch, G. Object-Oriented Analysis and Design with Applications / G. Booch. – Addison-Wesley Professional, 2007. – 720 p.

7. Russell, S. Artificial Intelligence: A Modern Approach / S. Russell, P. Norvig. – Upper Saddle River : Prentice Hall, 2010. – 1152 p.

УДК.68.5.01:658.512.2.011.56

Ю. В. Кандырин, Е. Е. Зинченко

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА ПРИПОЕВ

Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт» г. Москва

E-mail: ywk@mail.ru

В работе рассматриваются вопросы многокритериального автоматизированного выбора припоев в реляционной модели данных на основе операций с фактор-множествами. Приведены алгоритм и примеры выбора припоев для различного числа учитываемых показателей качества, исследована сила критериев, показано структурирование альтернатив с помощью диаграммы Хассе и π -расслоения.

Ключевые слова: многокритериальный выбор, фактор-множество, окрестности альтернатив, критериальное структурирование.

Y. W. Kandyrin, E. E. Zinchenko

TECHNIQUE of the AUTOMATED MULTICRITERIA CHOICE of SOLDERS

National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow

The problems of multicriteria automated solder selection in a relational model based on operations with factor sets are considered in this paper. Algorithm and examples of solder choice for different number of considered performance indices are given here. Criteria power was investigated. Alternatives structuring with help of Hasse diagram and π -foliation was shown.

Keywords: multi-criteria selection, the factor set, neighbourhoods of alternatives, criteria structuring.

Введение

Наиболее распространенным методом контактирования при производстве радиоэлектронных средств (РЭС) является пайка. При пайке обеспечивается электрический контакт и механическое соединение выводов компонентов конструкции. В зависимости от назначения изделий и используемой технологии применяются различные припои. От рационального выбора типа припоя и технологии его применения зависят качество, надежность, функциональные и стоимостные характеристики конечной продукции. Учитывая, что альтернативные предложения на рынке припоев весьма разнообразны, актуальность и своевременность постановки задачи автоматизации выбора припоев в рамках САПР РЭС не вызывает сомнений.

Целью данной работы является разработка алгоритма выбора припоев в моделях фактор-

множеств окрестностей альтернатив, сравнение результатов выбора, полученных по критерию Парето с разной силой усечения, а также проведение структурирования множества вариантов с помощью диаграммы Хассе и π -расслоений.

Модель данных и исходные данные для выбора

База данных исходного множества припоев может быть представлена реляционной моделью данных $Re(A_1, A_2, A_3, A_4...)$. В зависимости от целеполагания в каждой конкретной задаче часть характеристик будет отнесена к показателям качества $\{ПК\}$, а часть к условиям и ограничениям – $\{У\}$, $\{О\}$. Для выбора припоев можно использовать безусловные, условные или интегральные критерии.

В табл. 1. в качестве примера приведено исходное множество альтернатив в виде реляци-

онной таблицы, для наиболее часто используемых при производстве многослойных печатных плат припоев. Очевидно, что в машинном представлении, при автоматизации процесса выбора, представление данных примет форму ассоциативных матриц. Данные в них имеют бинарное

описание, соответствующее квазиреляционной модели с упорядочиванием характеристик по возрастанию их значений и с сортировкой столбцов по лексикографии имен. Такое априорное структурирование значительно сократит время на поиск при решении задач выбора [1].

Таблица 1

Исходное множество альтернатив припоев в виде реляционной таблицы

Альтернативы	Названия	Состав [%]	Плотность [кг/м ³]	Ткр. (плав) [град]	Тпай [град]	Мех. прочн [МПа]	Удел. эл. сопр. [мкОм*м]	Стоимость	1/Мех. прочн [1/МПа]
θ ₁	ПСр72	Ag72/Cu28	9900	779..779	830	450	2,1	50023	0,0022
θ ₂	ПСр71	Ag71/Cu28/P1	9800	750..795	800	448	4,3	48333	0,002232
θ ₃	ПСр45	Ag45/Cu30/Cn25	9100	660..725	720	300	10	31407	0,00333
θ ₄	ПСр40	Ag40/Cu60	9250	610..610	675	290	7	28261	0,003448
θ ₅	ПОС90	Sr80/Pb19,67/Sb0,1/Cu0,08/Bi0,1/As0,05	-	183..222	233	43	0,12	6124	0,02325
θ ₆	ПОСС 4-6	Pb94,7/Sb0,1/Cu0,08/Bi0,1/As0,05	-	245..265	300	59	8,6	1026	0,01695
θ ₇	ПСр3	Ag3/Pb97	11400	304..315	355	250	12,5	2241	0,004
θ ₈	ПСр2	Ag2,0/Sn30,0/Cu5,0	9500	235..238	290	240	16,7	2238	0,00417
θ ₉	ПОС-Су 61-0,5	Sn61/Pb38,73/Cu0,05/Bi0,2/As0,02	8500	183..189	235	45	0,14	4153	0,0222
θ ₁₀	ПОС-Су 30-0,5	Sn31/Pb68,73/Cu0,05/Bi0,2/As0,02	8700	183..255	252	36	0,179	2200	0,02778

В представленном массиве данных все характеристики вариантов припоев – равнозначны и могут назначаться как показатели качества и как ограничения.

Формализуем задачу выбора посредством назначения показателей качества, от которых зависит результат паяных соединений в печатных платах. В качестве совокупности ПК выберем: k_1 – стоимость (оптовую цену припоя); k_2 – температуру пайки ($t_{\text{пайки}}$); k_3 – механическую прочность при растяжении (σ); k_4 – удельное электрическое сопротивление (ρ). Показатели качества k_1, k_2, k_4 – минимизируются, а k_3 необходимо максимизировать, поэтому для его нормализации примем в качестве ПК₃ величину $k_3^* = 1/k_3$ – обратную механической прочности при растяжении, которую будем также минимизировать.

Методика и алгоритмы выбора припоев

В зависимости от функционального назначения паяного соединения и степени информированности ЛПР формализованная постановка задачи выбора припоя может принимать различный вид: $\pi\{k_1, k_2, k_3, k_4\}$, $\pi\{k_1, k_2, k_3\}$, $\pi\{k_1, k_2, k_4\}$, $\pi\{k_2, k_3, k_4\}$, $\pi\{k_1, k_3, k_4\}$, $\pi\{k_1, k_2\}$, $\pi\{k_2, k_3\}$ Очевидно, что сила постановок возрастает с уменьшением числа учитываемых ПК. С ростом информированности ЛПР можно применять все более сильные критерии, в том числе условные и интегральные, для уточнения решений полученных по более слабым π -критериям, постановки которых представлены в табл. 2.

Пусть для рассматриваемого примера многокритериальный выбор припоя по ТЗ будет осуществляться по совокупности из 2, 3 и 4 показателей качества. При этом оставшаяся часть характеристик может задаваться ЛПР как условия или ограничения. Допустим, что наложенных ограничений нет, и все исходные варианты являются допустимыми.

Рассмотрим предлагаемую методику автоматизированного МКВ на примере выбора при-

Таблица 2

Таблица классификации критериев для решения задач выбора

Критерии предпочтения					
Безусловные		Условные		Интегральные	
Парето	Слейтера	L-критерий	Δ-критерий	Аддитивный	Мультипликативный
$k_l(\omega_i) \leq k_l(\omega_j);$ $\forall l = \overline{1, M};$ $i \neq j;$ $i, j = \overline{1, N}$	$k_l(\omega_i) < k_l(\omega_j);$ $\forall l = \overline{1, M};$ $i \neq j;$ $i, j = \overline{1, N}$	$k_1 > k_2 > \dots > k_M;$ $k_1(\omega_i) < k_1(\omega_j)/\omega_i > \omega_j$	$k_1 > k_2 > \dots > k_M;$ $k_1(\omega_i) \leq k_1(\omega_j)_{\min} + \Delta k_1(\omega_i)$	$F = \sum_1^M a_i k_i;$ $\sum a_i = 1;$ $0 \leq a \leq 1$	$F = \prod_1^M k_i^{a_i};$ $0 \leq a \leq 1$

поя для поверхностного монтажа элементов на многослойной печатной плате в мелкосерийном единичном производстве. При этом для достижения поставленной цели будем полагать, что ЛПР минимально информирован, и поэтому установим следующую совокупность ПК для выбора припоя по безусловному критерию $\pi\{k_4, k_2, k_3^*, k_1\}$, т. е. используется полный набор возможных ПК.

Алгоритм выбора будем строить с применением аппарата фактор-множеств окрестностей альтернатив для поиска нехудших вариантов припоев из исходного множества в сравнимых постановках с убывающей силой.

Как следует из табл. 2, линейные порядки вариантов $\{L_l(\Omega/k_l)\}$, $l = \{1, 4\}$ для принятых <ПК> заданы по ТЗ в следующем в виде:

$$\begin{aligned}
 L_4(\Omega/k_4): & \langle \omega_5, \omega_9, \omega_{10}, \omega_1, \omega_2, \omega_4, \omega_6, \omega_3, \omega_7, \omega_8 \rangle \\
 L_2(\Omega/k_2): & \langle \omega_5, \omega_9, \omega_{10}, \omega_8, \omega_6, \omega_7, \omega_4, \omega_3, \omega_2, \omega_1 \rangle \\
 L_3(\Omega/k_3^*): & \langle \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_7, \omega_8, \omega_6, \omega_9, \omega_5, \omega_{10} \rangle \\
 L_1(\Omega/k_1): & \langle \omega_6, \omega_{10}, \omega_8, \omega_7, \omega_9, \omega_5, \omega_4, \omega_3, \omega_2, \omega_1 \rangle
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Задача 1. Требуется найти оптимальные по Парето варианты для фактор-множеств второго порядка через фактор-множества линейных порядков.

Напомним, что фактор-множество – это совокупность окрестностей единичного радиуса,

взятых для всех элементов $\omega_i \in \Omega, i = \{1, N\}, N = |\Omega|$ из совокупности Ω .

Представим фактор-множества в виде таблиц реляционного типа, в строках которых находятся альтернативы, а в столбцах – окрестности этих альтернатив. В [1], [2] показано, что результирующее фактор-множество более высокого порядка может быть получено логическим умножением фактор-множеств более низких порядков:

$$\begin{aligned}
 \Phi(\Omega/\pi\{k_1, \dots, k_M\}) &= \\
 &= \Phi(\Omega/k_1) \cap \Phi(\Omega/k_2) \cap \dots \cap \Phi(\Omega/k_M).
 \end{aligned}$$

Причем каждое фактор-множество представляет собой совокупность единичных окрестностей O_i альтернатив для принятого ПК.

В табл. 3–6 представлены фактор-множества $\Phi_{\Omega k_l}$ для линейных порядков альтернатив припоев – $L(\Omega/k_l)$. По строкам отложены окрестности $O_i(\Phi/k_l)$ каждой из рассматриваемых альтернатив, полученные установлением доминирования принятого в рассмотрение i -го варианта.

Пустые подмножества означают, что данный вариант не доминируется никакой другой альтернативой; то есть этот случай говорит о выявлении оптимального (недоминируемого) варианта, что отображается в табл. 6 пустыми окрестностями \emptyset .

Таблица 3

Представление фактор-множества $\Phi_{\Omega k_4}$ для $L(\Omega/k_4)$

ω_i	$O_i(\Omega/k_4)$	ω_i	$O_i(\Omega/k_4)$
ω_1	$\omega_5, \omega_9, \omega_{10}$	ω_6	$\omega_1, \omega_2, \omega_4, \omega_5, \omega_9, \omega_{10}$
ω_2	$\omega_1, \omega_5, \omega_9, \omega_{10}$	ω_7	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_9, \omega_{10}$
ω_3	$\omega_1, \omega_2, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_9, \omega_{10}$	ω_8	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_9, \omega_{10}$
ω_4	$\omega_1, \omega_2, \omega_5, \omega_9, \omega_{10}$	ω_9	ω_5
ω_5	\emptyset	ω_{10}	ω_5, ω_9

Таблица 4

Представление фактор-множества $\Phi_{\Omega} k_2$ для $L(\Omega/k_2)$

ω_i	$O_i(\Omega/k_2)$	ω_i	$O_i(\Omega/k_2)$
ω_1	$\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}$	ω_6	$\omega_5, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}$
ω_2	$\omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}$	ω_7	$\omega_5, \omega_6, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}$
ω_3	$\omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}$	ω_8	$\omega_5, \omega_9, \omega_{10}$
ω_4	$\omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}$	ω_9	ω_5
ω_5	\emptyset	ω_{10}	ω_5, ω_9

Таблица 5

Представление фактор-множества $\Phi_{\Omega} k_3^*$ для $L(\Omega/k_3^*)$

ω_i	$O_i(\Omega/k_3^*)$	ω_i	$O_i(\Omega/k_3^*)$
ω_1	\emptyset	ω_6	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_7, \omega_8$
ω_2	ω_1	ω_7	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$
ω_3	ω_1, ω_2	ω_8	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_7$
ω_4	$\omega_1, \omega_2, \omega_3$	ω_9	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9$
ω_5	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9$	ω_{10}	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9$

Таблица 6

Представление фактор-множества $\Phi_{\Omega} k_1$ для $L(\Omega/k_1)$

ω_i	$O_i(\Omega/k_1)$	ω_i	$O_i(\Omega/k_1)$
ω_1	$\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}$	ω_6	\emptyset
ω_2	$\omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}$	ω_7	$\omega_6, \omega_8, \omega_{10}$
ω_3	$\omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}$	ω_8	ω_6, ω_{10}
ω_4	$\omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}$	ω_9	$\omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_{10}$
ω_5	$\omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}$	ω_{10}	ω_6

Найдем фактор-множество $\Phi(\Omega/\pi\{k_4, k_2\})$, исходя из заданных линейных порядков $\Phi(\Omega/\pi\{k_4, k_2\}) = \Phi(\Omega/k_4) \cap \Phi(\Omega/k_2)$. В табл. 7 приведено результирующее фактор-множество для двумерного пространства показателей качества $\{k_4, k_2\}$.

Таблица 7

Представление результирующего фактор-множества $\Phi_{\Omega/\pi\{K_4, K_2\}}$

ω_i	$\Phi_{\Omega/\pi\{k_4, k_2\}}$	ω_i	$\Phi_{\Omega/\pi\{k_4, k_2\}}$
ω_1	$\omega_5, \omega_9, \omega_{10}$	ω_6	$\omega_5, \omega_9, \omega_{10}$
ω_2	$\omega_5, \omega_9, \omega_{10}$	ω_7	$\omega_5, \omega_6, \omega_9, \omega_{10}$
ω_3	$\omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_9, \omega_{10}$	ω_8	$\omega_5, \omega_9, \omega_{10}$
ω_4	$\omega_5, \omega_9, \omega_{10}$	ω_9	ω_5
ω_5	\emptyset	ω_{10}	ω_5, ω_9

Результатом выбора на фактор-множестве $\Phi_{\Omega}/\pi\{k_4, k_2\}$ для двумерного пространства показателей качества $\{k_4, k_2\}$ является одна альтернатива ω_5 – (ПОС-90).

Аналогично найдем фактор-множество для двумерного пространства $\{k_2, k_3^*\}$, исходя из заданных линейных порядков (1). В табл. 8 представлено результирующее фактор-множество для двумерного пространства показателей качества, полученное пересечением $\Phi(\Omega/\pi\{k_2, k_3^*\}) = \Phi(\Omega/k_2) \cap \Phi(\Omega/k_3^*)$.

Таблица 8

Представление результирующего фактор-множества $\Phi_{\Omega/\pi\{K_2, K_3^*\}}$

ω_i	$\Phi_{\Omega/\pi\{k_2, k_3^*\}}$	ω_i	$\Phi_{\Omega/\pi\{k_2, k_3^*\}}$
ω_1	\emptyset	ω_6	ω_5
ω_2	\emptyset	ω_7	\emptyset
ω_3	\emptyset	ω_8	\emptyset
ω_4	\emptyset	ω_9	\emptyset
ω_5	\emptyset	ω_{10}	ω_5, ω_9

Результатом выбора оптимальных по Парето вариантов через построение фактор-множества $\Phi_{\Omega}/\pi\{k_2, k_3^*\}$ для двумерного пространства показателей качества $\{k_2, k_3^*\}$ являются восемь альтернатив: $\{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_7, \omega_8, \omega_9\}$.

Найдем фактор множество для двумерного пространства $\{k_3^*, k_1\}$, исходя из заданных линейных порядков. В табл. 9 приведены окрестности фактор-множества $\Phi(\Omega/\pi\{k_3^*, k_1\})$ для двумерного пространства показателей качества $\{k_3^*, k_1\}$, найденные по следующему выражению $\Phi(\Omega/\pi\{k_3^*, k_1\}) = \Phi(\Omega/k_3^*) \cap \Phi(\Omega/k_1)$.

Таблица 9

Представление результирующего фактор-множества $\Phi_{\Omega/\pi\{K_3^*, K_1\}}$

ω_i	$\Phi_{\Omega/\pi\{k_3^*, k_1\}}$	ω_i	$\Phi_{\Omega/\pi\{k_3^*, k_1\}}$
ω_1	\emptyset	ω_6	\emptyset
ω_2	\emptyset	ω_7	\emptyset
ω_3	\emptyset	ω_8	\emptyset
ω_4	\emptyset	ω_9	$\omega_6, \omega_7, \omega_8$
ω_5	$\omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9$	ω_{10}	ω_6

Из табл. 9 следует, что для фактор-множества $\Phi_{\Omega/\pi\{k_2, k_3^*\}}$ для двумерного пространства показателей качества $\{k_2, k_3^*\}$ являются семь альтернатив: $\{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_6, \omega_7, \omega_8\}$.

Задача 2. Требуется найти оптимальные по Парето варианты для фактор-множеств третьего порядка через фактор-множества линейных порядков.

Сформируем результирующее фактор-множество (табл. 10) для трехмерного пространства показателей качества $\{k_4, k_2, k_3^*\}$:

$$\Phi(\Omega/\pi\{k_4, k_2, k_3^*\}) = \Phi(\Omega/k_4) \cap \Phi(\Omega/k_2) \cap \Phi(\Omega/k_3^*).$$

Таблица 10

Представление результирующего фактор-множества $\Phi_{\Omega/\pi\{K_4, K_2, K_3^*\}}$

ω_i	$\Phi_{\Omega/\pi\{k_4, k_2, k_3^*\}}$	ω_i	$\Phi_{\Omega/\pi\{k_4, k_2, k_3^*\}}$
ω_1	\emptyset	ω_6	\emptyset
ω_2	\emptyset	ω_7	\emptyset
ω_3	\emptyset	ω_8	\emptyset
ω_4	\emptyset	ω_9	\emptyset
ω_5	\emptyset	ω_{10}	ω_5, ω_9

Парето-оптимальными вариантами для трехмерного пространства показателей качества $\{k_4, k_2, k_3^*\}$ в фактор-множестве $\Phi_{\Omega/\pi\{k_4, k_2, k_3^*\}}$ являются девять альтернатив: $\{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9\}$.

Задача 3. Требуется найти оптимальные по Парето варианты для фактор множеств четвертого порядка $\{k_4, k_2, k_3^*, k_1\}$ через фактор-множества линейных порядков.

Сформируем результирующее фактор-множество (табл. 11) для четырехмерного пространства показателей качества $\{k_4, k_2, k_3^*, k_1\}$:

$$\Phi(\Omega/\pi\{k_4, k_2, k_3^*, k_1\}) = \Phi(\Omega/k_4) \cap \Phi(\Omega/k_2) \cap \Phi(\Omega/k_3^*) \cap \Phi(\Omega/k_1).$$

Таблица 11

Представление результирующего фактор-множества $\Phi_{\Omega/\pi\{K_4, K_2, K_3^*, K_1\}}$

ω_i	$\Phi_{\Omega/\pi\{k_4, k_2, k_3^*, k_1\}}$	ω_i	$\Phi_{\Omega/\pi\{k_4, k_2, k_3^*, k_1\}}$
ω_1	\emptyset	ω_6	\emptyset
ω_2	\emptyset	ω_7	\emptyset
ω_3	\emptyset	ω_8	\emptyset
ω_4	\emptyset	ω_9	\emptyset
ω_5	\emptyset	ω_{10}	\emptyset

Нехудшими в π -постановке $\pi\{k_4, k_2, k_3^*, k_1\}$ являются все 10 конечных альтернатив, имеющих пустые окрестности: $\{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}\}$.

Приведем диаграммы Хассе (ДХ) для сочетаний различных пар ПК, полученных с помощью фактор множеств. Важным прагматическим свойством ДХ является установление с ее помощью альтернатив-заместителей, на которые указывают дуги ориентированного графа.

В частности, для случая $\{k_4, k_2\}$ дуги в диаграмме Хассе, приведенной на рис. 1, указывают на возможные близкие замены вариантов, поэтому если, например, вариант припоая ω_5 (ПОС90) не может быть найден на рынке, ближайшей его заменой будет вариант ω_9 (ПОССУ 61-0,5). Более детальный креативный анализ позволит ЛПР принять окончательное решение. Аналогично для рис. 2 из диаграммы Хассе сле-

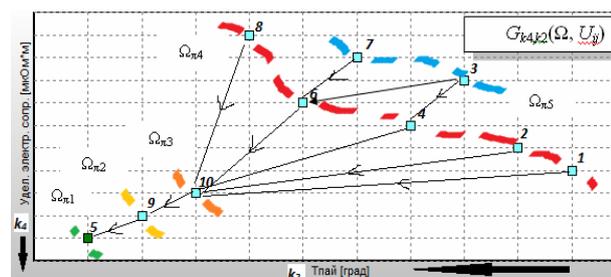


Рис. 1. Диаграмма Хассе и π -слои упорядоченного множества для $\{k_4, k_2\}$

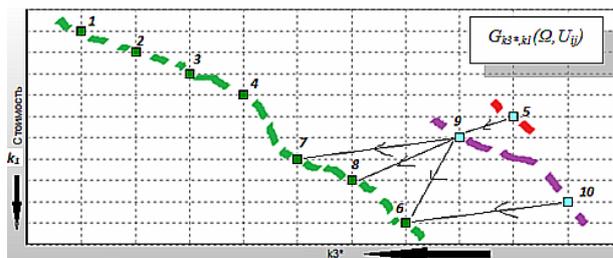


Рис. 2. Диаграмма Хассе и π -слои упорядоченного множества для k_3^* , k_1

дует, что вариант 7 может быть заменен на вариант 9; вариант 6 – на варианты 9 и 10. Кроме описания множества Ω диаграммой Хассе, возможно и его послойное представление.

Послойное представление частично упорядоченного множества в виде последовательно зада-

ваемых π -слоев означает, что процедура выбора на структурированном множестве должна начинаться сразу с потенциально эффективных (нехудших по π -критерию) конечных решений посредством проверки допустимости альтернатив. Если допустимых вариантов в Ω_{π_1} -решениях нет, то выбор проводится на следующем слое Ω_{π_2} упорядоченного множества Ω ; если их нет и там, то переходят к третьему слою и т. д.

Таким образом, все исходное множество альтернатив Ω априорно разбивается на линейно упорядоченные Ω_{π_s} -слои, которые представляют собой настроенную на целевые устремления ЛПР эффективную структуру.

В табл. 12 приведены найденные оптимальные варианты для разных π -постановок по принятому ТЗ на выбор.

Таблица 12

Полученные оптимальные результаты по разным постановкам

Мощность критерия	Число оптимальных вариантов	Полученные варианты ω из исходного множества $|\Omega|=10$	Припои
$\pi\{k_4, k_2, k_3^*, k_1\}$	10	$\{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9, \omega_{10}\}$	1) ПСр72; 2) ПСр71; 3) ПСр45; 4) ПСр40; 5) ПОС90; 6) ПОСС 4-6; 7) ПСр3; 8) ПСр2; 9) ПОССу 61-0,5; 10) ПОССу 30-0,5
$\pi\{k_4, k_2, k_3^*\}$	9	$\{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_9\}$	1) ПСр72; 2) ПСр71; 3) ПСр45; 4) ПСр40; 5) ПОС90; 6) ПОСС 4-6; 7) ПСр3; 8) ПСр2; 9) ПОССу 61-0,5;
$\pi\{k_3^*, k_1\}$	7	$\{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_6, \omega_7, \omega_8\}$	1) ПСр72; 2) ПСр71; 3) ПСр45; 4) ПСр40; 6) ПОСС 4-6; 7) ПСр3; 8) ПСр2
$\pi\{k_2, k_3^*\}$	9	$\{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_6, \omega_7, \omega_8, \omega_{10}\}$	1) ПСр72; 2) ПСр71; 3) ПСр45; 4) ПСр40; 6) ПОСС 4-6; 7) ПСр3; 8) ПСр2; 10) ПОССу 30-0,5
$\pi\{k_4, k_2\}$	1	$\{\omega_5\}$	5) ПОС90

Из табл. 12 следует, что при уменьшении мощности по ПК π -критерий сильнее (или эквивалентно) отсекает исходное множество вариантов. Более сильное усеменение исходного множества можно получить с помощью условных и интегральных критериев предпочтения (табл. 1).

Выводы

На примерах реальных задач выбора припоев показано, что сила π -критериев возрастает с ростом информированности ЛПР, выражающейся в способности ЛПР более четко оперировать постановкой задачи МКВ. Так для критерия Парето сила возрастает с уменьшением числа принимаемых во внимание ПК.

В работе приведен алгоритм выбора вариантов припоев с использованием фактор-множеств. Приведены также практические примеры выбора припоев для двух различных постановок. Показана возможность решения задачи выбора

для паретовских расслоений и для частичных порядков, отображаемых диаграммами Хассе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кандырин, Ю. В. Решение задач упорядочивания вариантов с использованием фактор-множеств, представленных ассоциативными моделями / Ю. В. Кандырин, А. М. Кошелев // Сетевой научный журнал «Системотехника». – 2006. – № 4. – Режим доступа : (<http://systech.miem.edu.ru/ogl-4-11.html>)
2. Кандырин, Ю. В. Математические модели структурирования альтернатив для решения задач выбора в САПР / Ю. В. Кандырин, Л. Т. Сазонова, Г. Л. Шкурина // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 3(76) / ВолгГТУ. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 10). – С. 111–116
3. Кандырин, Ю. В. Автоматизированный многокритериальный выбор припоев для пайки DIP-компонентов на печатных платах в РЭС / Ю. В. Кандырин, Е. Е. Зинченко // Радиотехнические тетради. – М.: Радиотехника. – 2011. – № 47. – С. 64–70.

УДК 658.5 : 658.58 : 004.02 : 62-7

*А. В. Кизим***ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ПОДДЕРЖКИ ТОиР ОБОРУДОВАНИЯ
НА ПРОТЯЖЕНИИ ЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: kizim@mail.ru

Работа посвящена повышению эффективности использования производственного оборудования с применением методических, программно-информационных и математических методов поддержки. Перечислены полезные эффекты от применения средств рационализации технического обслуживания и ремонта (ТОиР) оборудования. Выделены группы средств поддержки и повышения эффективности ТОиР, основные проблемы организации эффективного проведения ТОиР. Выделены стадии жизненного цикла (ЖЦ) оборудования. Описана структура затрат на ЖЦ оборудования (LLC). Предложено использование комплексного подхода к одновременному снижению различных групп затрат, влияющих на величину LCC за счет применения совокупности средств методической и программно-информационной поддержки, математических методов и алгоритмов. Формализован обобщенный состав задач и методов поддержки ТОиР оборудования для обеспечения его эффективной работы. Приведены типовые этапы процесса поддержки обслуживания оборудования и состав задач информационной поддержки на этапе эксплуатации оборудования.

Ключевые слова: оборудование; жизненный цикл оборудования; затраты на ЖЦ оборудования; техническое обслуживание и ремонт; ТОиР; методические, программно-информационные и математические методы поддержки ЖЦ оборудования.

*A. V. Kizim***OBJECTIVES AND METHODS OF MRO EQUIPMENT SUPPORT THROUGHOUT LIFE CYCLE****Volgograd State Technical University**

The work is dedicated to increasing efficiency of production equipment using the methodology, software and information and mathematical methods of support. Effects of equipment maintenance and repair (MRO) using rationalization are listed. Groups of support and improve maintenance and repair means, main problems of effective MRO organization are described. Stages of equipment life cycle (LC) and equipment life cycle costs (LLC) components are highlighted. Proposed use of an integrated approach to the simultaneous reduction of costs of various groups that affect the value of LCC through the use of combination of methodological and software support information, mathematical methods and algorithms. Problems and methods to support maintenance and repair of equipment to ensure its effective operation are formalized. Typical stages of the process equipment and support services of informational support tasks during equipment operation are showed.

Keywords: equipment; life cycle of equipment; equipment life cycle costs; equipment maintenance and repair, MRO; methodology, software, information and mathematical methods of equipment life cycle support.

Основным активом предприятий является оборудование. Для получения наибольшей прибыли оборудование должно работать с максимальным коэффициентом эффективности использования оборудования (КЭИО), который зависит от степени готовности оборудования, показателей производительности и качества. Собственники и управленцы предприятий заинтересованы в повышении отдачи от оборудования, так как от этого зависят их дивиденды и заработная плата. При нормальном функционировании оборудования выполняются запланированные объемы производства и реализуется возможность дополнительного выпуска продукции.

По различным оценкам экспертов [1], парк отечественного оборудования устарел в среднем на 40–60 %. При покупке оборудования

редко задумываются об обеспечении его эффективной эксплуатации во всем жизненном цикле (ЖЦ). Но стоимость владения оборудованием складывается не только из стоимости покупки и доставки, но включает также и затраты на установку, эксплуатацию, техническое обслуживание, ремонт и демонтаж. И зачастую, чем сложнее и дороже современное оборудование, тем меньше относительные затраты на его ремонт. Это связано с наличием развитых средств самодиагностики, которые заранее могут предупреждать о приближающемся отказе, что позволяет заблаговременно к нему подготовиться ремонтной службе и затратить меньше ресурсов, чем при непредвиденных отказах. К сожалению, не все предприятия могут позволить себе покупать такое ультрасовременное оборудование, и средства диагностики приме-

няются в недостаточной мере. В России существует тенденция минимизации выделения средств на обслуживание оборудования в угоду «сиюминутной прибыли», что зачастую приводит в долгосрочном плане к обратному результату – повышению затрат, так как оборудование рано или поздно все равно выходит из строя, но ремонтная служба из-за снижения финансирования оказывается не готова к внеплановым ремонтам, и на устранение неисправности уходит на порядок больше средств.

Существуют резервы повышения отдачи от оборудования. Прежде всего, необходимо обеспечить его надежное функционирование. Согласно [2], *надежность* – комплексное свойство оборудования, которое, в зависимости от назначения объекта и условий его пребывания, может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенное сочетание этих свойств. Согласно [3], многие промышленные предприятия нашей страны имеют КЭИО, значение которого намного ниже, чем в развитых странах. По независимым оценкам, КЭИО (например, российских металлургических предприятий) составляет 55–60 %, тогда как в развитых странах этот показатель достигает 80–85 %. Необходимо выявлять факторы, которые сокращают КЭИО, и применять методы организации рационального ТОиР, максимизирующие КЭИО и минимизирующие затраты. Применение средств рационализации обслуживания оборудования позволяет:

- совершенствовать систему организации работ по ТОиР;
- обоснованно устанавливать виды и объем ремонтов и обслуживания, планировать работу ремонтных служб;
- полнее использовать межремонтные ресурсы машин;
- сократить расход запасных частей.

В качестве средств поддержки и повышения эффективности ТОиР можно выделить следующие группы (указаны ограничения их применения):

1) программные средства (модули ТОиР в системах ERP и EAM, системы CMMS), которые необходимо дополнительно настраивать и адаптировать;

2) стандарты, которые по разным причинам не всегда применяются и в полной мере не могут использоваться для всего комплекса работ по ТОиР:

– ГОСТы СССР: ГОСТ 18322–78 (регламентирует термины и определения), ГОСТ 21623–76 (описывает показатели ремонтпригодности), ГОСТ 23660–79 (регламентирует обеспечение ремонтпригодности при разработке) и ГОСТ 28.001–83 (описывает назначение и состав комплекса стандартов «Система технического обслуживания и ремонта техники» и правила обозначения относящихся к нему государственных стандартов).

– стандарты России: ГОСТ 15.601–98 (не регламентирует непосредственно саму организацию и проведение процессов, работ и процедур ТОиР);

– отраслевые стандарты ТОиР, по отдельным отраслям;

– стандарты корпораций или предприятий, например «Лукойла».

3) методические материалы (отраслевых советских институтов, таких как ЭНИМС, ЭНИКМАШ, ВНИИЛИТМАШ, ВНИИДМАШ), многие из которых уже устарели или не применяются в полной мере из-за недостатка финансирования служб ТОиР;

4) отдельные методы, решающие частные проблемы.

Можно сделать вывод, что имеющихся в нашей стране средств поддержки организации ТОиР явно недостаточно [4], и необходима разработка и адаптация широкого спектра современных средств поддержки ТОиР, в том числе методическое обеспечение [5; 6], программно-информационные системы [7], математические методы и алгоритмы решения задач [4; 7]. В мировой практике организации и поддержки ТОиР имеются инструменты такого рода (например, методологии RCM, TPM; методы FMEA, FMESA, RCA и другие), но по различным причинам они не применяются или применяются в недостаточной мере).

В области научной поддержки организации работ по ТОиР можно выделить следующие основные проблемы организации эффективного проведения ТОиР:

– использование рациональных стратегий ТОиР, минимизирующих производственные потери и эксплуатационные затраты на всем жизненном цикле оборудования;

– оптимизация ресурсов для проведения ТОиР;

– эффективное управление службами ТОиР предприятия, а также автономным ремонтно-сервисным предприятием, повышающее их рен-

табельность и КЭИО (задачи управления ремонтным предприятием или подразделением, организации работ, оценки и повышения эффективности работы служб ТОиР, контроля работ, составления производственной программы);

– определение превентивных воздействий, предотвращающих появление отказов и повышающих надежность оборудования;

выбор вида и порядка осуществления ТОиР (задачи поддержки принятия решений [7], планирования [9]);

определение момента проведения работ по ТОиР (мониторинг состояния оборудования [8] и прогнозирование его отказов [9]).

Многие из выделенных задач имеют решение, применимое при поддержке служб ТОиР, но не все из них решены в полной мере, и для повышения конкурентоспособности предприятий необходимо уделить им особое внимание. Эффективное решение достигается при применении системного подхода, что дает синергетический эффект. За счет использования научно обоснованной организации ТОиР возможно достижение следующих основных эффектов:

– уменьшение числа отказов и простоев оборудования;

– увеличение срока службы обслуживаемых систем;

– сокращение затрат на эксплуатацию;

– повышение производительности оборудования.

Таким образом, необходимо на основе системного подхода разработать модели, методы и методологии организации работ по ТОиР оборудования на протяжении его жизненного цикла.

Выделим стадии ЖЦ оборудования. Согласно рекомендациям [10], для ЖЦ продукции приняты следующие стадии: исследование и проектирование; изготовление; обращение и реализация; эксплуатация или потребление. В [11] выделяются такие стадии ЖЦ систем, как стадия замысла, разработки, производства, применения, поддержки применения, прекращения применения и списания. Согласно [12], типичными этапами жизненного цикла продукции являются: маркетинг и изучение рынка; проектирование и разработка продукции; планирование и разработка процессов; закупки; производство или предоставление услуг; проверки; упаковка и хранение; реализация и распределение; монтаж и ввод в эксплуатацию; техническая помощь и обслуживание; послепродажная деятельность; утилизация или перера-

ботка продукции в конце полезного срока службы. Таким образом, для оборудования можно выделить следующие основные стадии ЖЦ:

– выявление потребностей;

– проектирование;

– изготовление;

– испытания и доработка;

– продажа/закупка, хранение и транспортировка;

– ввод в эксплуатацию (монтаж и наладка);

– эксплуатация по назначению;

– утилизация.

Как было замечено выше, затраты на оборудование состоят не только из стоимости его приобретения. Согласно [13], затраты на ЖЦ оборудования LLC:

$$LCC = C_{ic} + C_{in} + C_e + C_0 + C_m + C_s + C_{env} + C_d$$

где C_{ic} – первоначальная стоимость покупки; C_{in} – стоимость установки, обучения и ввода в эксплуатацию; C_e – затраты энергии; C_0 – стоимость нормальной эксплуатации; C_m – стоимость ТОиР; C_s – стоимость простоев (недовыпуска продукции); C_{env} – стоимость расходных материалов, необходимых для нормального функционирования оборудования; C_d – стоимость вывода из эксплуатации и утилизации оборудования и материалов. Соответственно, изменение стоимости любой фазы ЖЦ оборудования или элемента структуры затрат на его ЖЦ влечет за собой изменение совокупной стоимости LLC. Для повышения эффективности использования оборудования достаточным условием служит снижение стоимости любой из компонент LCC. Более сильным решением является комплексный подход к одновременному снижению различных групп затрат, влияющих на величину LCC. Для его осуществления необходимо применение совокупности средств методической и программно-информационной поддержки в совокупности с математическими методами и алгоритмами.

Обобщенный состав задач и методов поддержки ТОиР применительно к задачам обеспечения эффективной работы оборудования приведен в таблице.

С использованием подхода в [14], процесс поддержки обслуживания оборудования можно разделить на типовые этапы: определение целей и задач, определение и измерение ключевых процессных параметров, анализ информации, производство улучшений и контроль. Такое

Состав задач и методов поддержки ТОиР оборудования на протяжении его жизненного цикла

Этапы ЖЦ оборудования	Задачи обеспечения работы оборудования	Методы решения и методические средства поддержки
Выявление потребностей	Определение характеристик обслуживания оборудования (время, периодичность, стоимость обслуживания)	Методы маркетинговых исследований. Методы анализа эксплуатации подобного оборудования и/или прототипов
Проектирование	Разработка регламента обслуживания, ремонта, хранения, транспортировки, установки и утилизации оборудования	Методы аналитического и имитационного моделирования параметров надежности оборудования. Методы определения периодичности обслуживания и ремонта. Определение правил хранения, транспортировки, установки и утилизации оборудования
Изготовление	Контроль соблюдения требований ТЗ	Мониторинг соблюдения технологии изготовления, параметров оборудования
Испытания и доработка	Определение надежных характеристик изделия. Корректировка регламента ТОиР	Проведение испытаний. Статистическая обработка результатов, определение закономерностей отказов. Адаптация регламента ТОиР
Хранение и транспортировка / Закупка	Соблюдение требований к хранению и транспортировке. Выбор для закупки необходимого оборудования	Выбор/адаптация структуры ремонтной службы при создании производства /рядовой закупке оборудования. ППР при отборе оборудования по характеристикам, производителю (для критериев эффективного ТОиР)
Ввод в эксплуатацию (монтаж и наладка)	Контроль соблюдения требований ввода в эксплуатацию испытания	Планирование работ по вводу в эксплуатацию. Пуско-наладочные испытания
Эксплуатация по назначению	Мониторинг необходимых параметров оборудования. Проведение ППР по ТОиР. Пусковые испытания. Прогнозирование отказов, Корректировка регламента ТОиР с учетом изменения характеристик надежности оборудования. Организация эксплуатационной/ремонтной службы. Планирование работ по ТОиР. Планирование и осуществление закупки запчастей и расходных материалов. Организация исполнения работ. Контроль выполнения работ ТОиР. Анализ результатов выполнения работ: – план/фактный анализ степени соответствия плановых и фактически проведенных работ; – оценка и корректировка сроков регламента ТОиР оборудования; – определение эффективности ремонта для видов оборудования; – оценка эффективности работы ремонтно-эксплуатационной службы	Диагностика (сбор и верификация информации). Прогнозирование отказов (в т. ч. выбор метода прогнозирования). ППР для оценки и выбора вариантов. Когнитивное и имитационное моделирование для определения структуры и характеристик организации ремонтно-эксплуатационной службы. Календарное планирование сроков работ. Составление смет трудовых и материальных затрат по нормативам. Определение порядка работ на основании плана, нормативов и прецедентов с помощью теории массового обслуживания, методов ППР (по Парето, с использованием лексикографического и др. критериев, в соответствии с их областью применения). Определение объемов закупки запасных частей на основании статистических закономерностей и прецедентов/шаблонов. Определение сроков остановки оборудования на основе производственной программы, нормативов и последовательности работ, связей оборудования. Проведение анализа причин отказа с фиксацией прецедента
Утилизация	Исследование свойств/ характеристик утилизируемого оборудования для корректировки регламента ТОиР. Определение применимости узлов и деталей для дальнейшей эксплуатации в другом оборудовании	Дефектация. Диагностика параметров работоспособных узлов. Подбор аналогов по параметрам

кое разделение позволяет применять типизированные средства поддержки эксплуатации оборудования. Также по результатам проведенных исследований выделены следующие задачи информационной поддержки ТОиР на этапе эксплуатации оборудования: сбор и обработка данных о функционировании оборудования и процессе ТОиР; накопление, выделение, структурирование и использование знаний; анализ информации и поддержка принятия решений (ППР).

Таким образом, планомерное отслеживание и минимизация составляющих компонентов структуры затрат жизненного цикла оборудования в совокупности со средствами программно-информационной и методической поддержки, а также специализированными математическими методами из выделенного комплекса средств поддержки, сгруппированного по этапам ЖЦ оборудования, позволяет повысить эффективность использования оборудования и снизить затраты на ЖЦ оборудования различных предприятий и организаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельник, В. Ю. Применение неметрического метода Парето для задачи планирования технического обслуживания и ремонта / В. Ю. Мельник, В. А. Камаев, А. В. Кизим // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11(84) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, выч. техники и информатики в технических системах. Вып. 12). – С. 103–106.
2. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
3. Мельник, В. Ю. Поддержка принятия решения при формировании очередей работ с помощью средств автоматизации планирования технического обслуживания и ремонта оборудования / В. Ю. Мельник, А. В. Кизим, В. А. Камаев // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11(84) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 12). – С. 107–110.
4. Кизим, А. В. Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6(54) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в техн. системах. Вып. 6). – С. 118–121.
5. Кизим, А. В. Исследование и разработка методики автоматизации ремонтных работ предприятия / А. В. Кизим, Н. А. Линева // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2(40) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2008. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 4). – С. 43–45.
6. Кизим, А. В. О методологических аспектах решения задач программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта / А. В. Кизим, С. В. Шевченко // Вісник національного технічного університету «ХП»: зб. наук. праць. Тем. випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – 2011. – № 35. – С. 56–61.
7. Кизим, А. В. Постановка и решение задач автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (Доклады ТУСУРа). – 2009. – № 2 (декабрь). – С. 131–135.
8. Камаев, В. А. Разработка и применение модели автоматизированной системы управления информационными процессами к задаче мониторинга состояния оборудования / В. А. Камаев, В. В. Лежебоков // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2009. – № 9. – С. 18–22.
9. Кизим, А. В. Задачи прогнозирования и планирования для программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта оборудования / А. В. Кизим, Е. В. Чиков, В. Ю. Мельник // Открытое образование. – 2011. – № 2 (85). – Ч. 2. – С. 224–227.
10. Р 50-605-80–93. Рекомендации по стандартизации. СРПП. Термины и определения.
11. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288–2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем.
12. ИСО 9004-1–94. Управление качеством и элементы системы качества. Ч. 1. Руководящие указания.
13. Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems. [Электронный ресурс]. – 2001. – Режим доступа : [http : //www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/pdfs/pumplcc_1001.pdf](http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/pdfs/pumplcc_1001.pdf).
14. Enterprise System Focused on Asset Performance Management. [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : http://www.reliasoft.com/pubs/reliasoft_orion.pdf.

УДК 004.89

*А. В. Кучуганов, А. Н. Соловьёва***АЛГОРИТМЫ ВЕРБАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ
НА ПРИМЕРЕ СЛОВЕСНОГО ПОРТРЕТА ЧЕЛОВЕКА*****Ижевский государственный технический университет**

E-mail: kuchuganov@istu.ru, alexandra-solovyova@yandex.ru

В работе описан метод вербализации изображений, реализованный в программной системе построения словесного портрета человека. Полученная в ходе распознавания информация представляется в виде нечеткого нагруженного графа, вершинам и дугам которого сопоставлены лингвистические переменные, описывающие характерные элементы лица. Предлагаемый метод позволяет гибко и с высокой точностью описать изображенное лицо на языке, близком к естественному.

Ключевые слова: словесный портрет, вербализация изображений, характерные точки, лингвистические переменные, нечеткий нагруженный граф, компьютерное зрение.

*A. V. Kuchuganov, A. N. Solovyova***IMAGE VERBALIZATION ALGORITHMS IN THE TASK OF GENERATING
THE VERBAL DESCRIPTION OF A PERSON****Izhevsk State Technical University**

In the paper a method for image verbalization is described, which is implemented in a system of human face verbal description synthesis. The information obtained during the recognition is represented in terms of a fuzzy weighted graph, which nodes and edges are associated with linguistic variables describing facial features. The proposed method makes it possible to describe the depicted face in a flexible and accurate way using a close to natural language.

Keywords: verbal description, image verbalization, feature points, linguistic variables, fuzzy weighted graph, computer vision.

Введение

Вербализацией называется словесное описание предметов, процессов, явлений окружающего мира, в том числе описание восприятия мира человеком. Решение задачи получения описания объекта по изображению позволит достичь нового уровня взаимодействия человека с компьютером. Обработка фотографий головы человека представляет особый интерес для практики [1; 2; 3; 4]. Построение словесного портрета по заданным фотографиям может найти применение как в системах компьютерного зрения, так и при поиске изображений по содержанию в базах данных.

Целью разработки описанных методов является не идентификация личности по фотографиям, но автоматическое получение гибкого, полного и подробного словесного описания изображенного на снимках лица на языке, близком к естественному.

1. Граф изображения и граф объекта

Содержащуюся в изображении информацию можно представить на двух уровнях:

1. *Геометрические объекты* – результаты обработки изображения: контуры и цветовые

кластеры, представленные цепочками отрезков, значениями цвета и координат.

2. *Физические объекты* – воспринимаемые человеческим глазом характерные элементы: антропометрические точки и отдельные сложные элементы, такие как глаза, губы, брови и др. Характерные элементы всегда присутствуют на изображаемом объекте, но точное их расположение и иногда сам факт наличия на изображении неизвестны. Словесный портрет формируется за счет обращения к характеристикам физических объектов.

Обработка изображений лица в фас и профиль выполняется с помощью анализатора локальных областей, реализующего принципы биоалгоритмов анализа изображений: многоуровневость, рекурсивность, адаптация к разрешающей способности (и др.), что повышает его универсальность и гибкость [5]. На изображении отслеживаются контуры, соответствующие перепадам яркости; выполняется цветовая сегментация. Затем выполняется аппроксимация полученных контуров и цветовых границ.

Полученные в результате цепочки отрезков образуют *граф изображения* $G_{II} = \langle V_{II}, E_{II} \rangle$, где $V_{II} \subset \mathbb{R}^2$ – вершины, соответствующие конечным точкам отрезков; E_{II} – ребра, соответствующие отрезкам. Таким образом, отдельные контуры и границы цветовых областей пред-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 11-07-00632-а, 11-07-00783-а).

ставляют собой связные подграфы графа изображения (рис. 1).

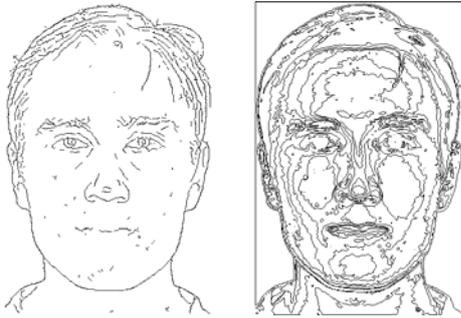


Рис. 1. Граф изображения: выделенные контуры и границы цветовых кластеров

Взаимосвязи между физическими объектами представляются в виде *графа объекта* [6] $G_O = \langle V_O, E_O \rangle$, где V_O – характерные элементы,

каждому из которых сопоставлено четкое значение типа элемента (*Область, Контур, Точка*), и набор лингвистических переменных (нечетких параметров, принимающих качественные значения; например, *Наклон: Горизонтальный, Вертикальный* и др.; *Очертания: Плавные, Угловатые* и др.); E_O – дуги, реализующие четкие (принадлежность) и нечеткие (направление, симметрия) отношения. Нечеткие отношения также описываются с помощью лингвистических переменных (рис. 2).

В процессе распознавания характерных элементов устанавливается соответствие между геометрическими и физическими объектами. По его результатам автоматически выполняются операции достраивания элементов: объединить несвязные области, дополнить контур подбородка и др.

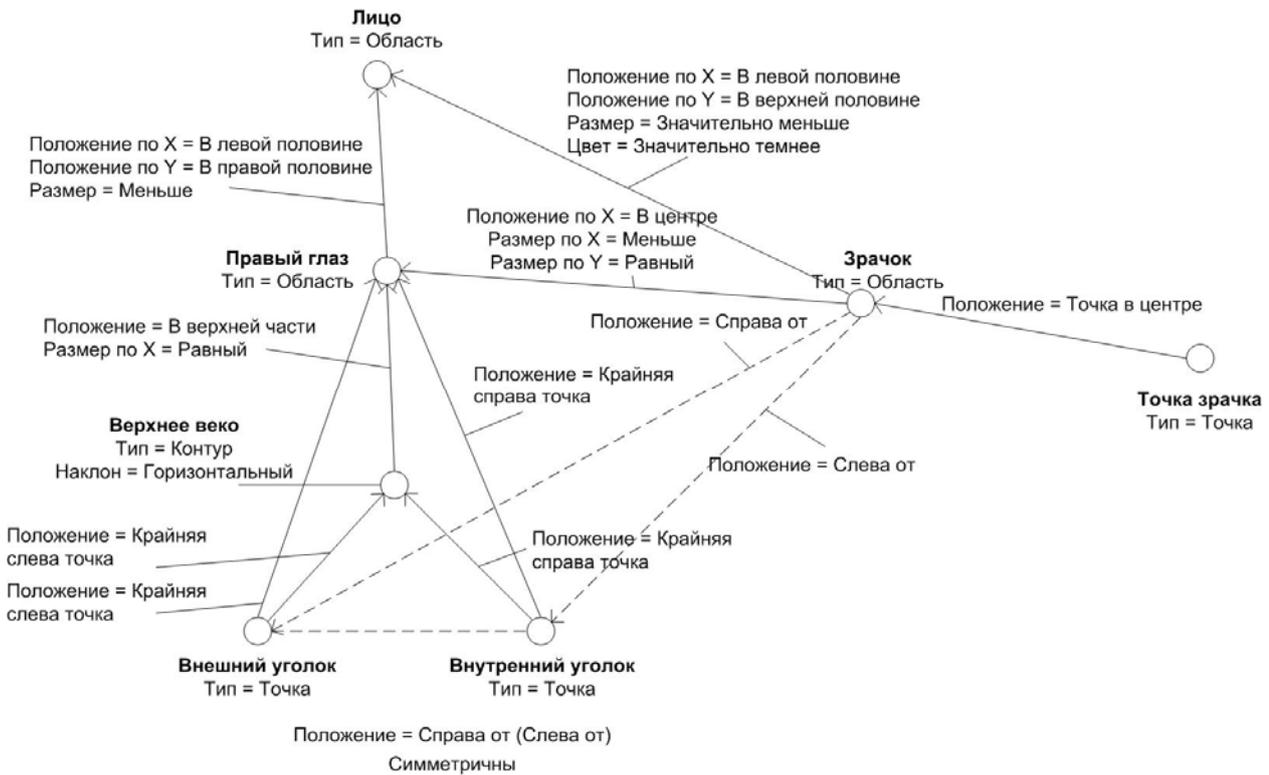


Рис. 2. Фрагмент графа объекта (головы человека)

2. Описание физических объектов и связей между ними

Различаются характерные элементы трех типов:

- *Области* (лицо, глаза, губы, брови и др.). Распознавание характерных областей выполняется на основе цветовой сегментации изображения.
- *Контур* (контур глазной щели, контур крыльев носа и др.).

- *Точки* (антропометрические точки: переносица, уголки глаз и др. [7]).

При необходимости также выполняются вспомогательные построения, использующиеся для выделения характерных элементов: линия зрачков, вертикальная ось симметрии лица и др.

Для описания взаимосвязей между характерными элементами лица используется четкое отношение принадлежности, организующее характерные элементы в древовидную структуру:

Принадлежит $\subseteq V_O \times V_O$. Корнем дерева является вся область изображения. В ней выделяют основные составляющие элементы фотографии: фон, лицо, волосы, одежда; далее в пределах области лица, выделяется область губ, носа, области глаз и т. п.

Также между характерными элементами лица рассматриваются нечеткие отношения R следующего вида:

$$\forall (\text{элемент}_1, \text{элемент}_2) \in V_O \times V_O: \\ \mu_R(\text{элемент}_1, \text{элемент}_2) \in [0, 1],$$

где μ_R – функция принадлежности.

Сопоставив каждому отношению R множество нечетких переменных $P = \{p_i\}_{i=0}^k$, заданных на множестве значений функции принадлежности μ_R (т. е. определив для них функции совместимости $c_{pi}: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$), получим означенную лингвистическую переменную, выражающую отношение R , которую можно охарактеризовать следующим набором [8]:

$$(X, T(X), U, G, M),$$

где X – название переменной, выбираемое в соответствии с формулировкой отношения R ; $T(X) = P$ – терм-множество переменной X , т. е. множество названий лингвистических значений, которые соответствуют нечетким переменным p_i ; $U = [0, 1]$ – универсальное множество; G – синтаксическое правило, порождающее названия значений переменной X ; M – семантическое правило, которое ставит в соответствие каждому значению переменной X его смысл, т. е. множество функций совместимости c_{ui} .

Задание значений лингвистических переменных позволяет описать отношения между элементами в словесной форме.

Применительно к изображениям головы человека можно выделить следующие нечеткие отношения между характерными элементами:

- отношения *расстояния* (близко, далеко и др.);

- отношения *направления* (выше, слева и др.);
- отношение *симметричности* относительно вертикальной оси лица;
- (со)отношения *размера* (больше, меньше и др.);
- отношения *формы* (уже, более круглый и др.);
- *тоновые* и *цветовые* отношения (темнее, краснее и др.).

3. Вербализация и лингвистические переменные

Словесный портрет формируется за счет обращения к характеристикам физических объектов и связей между ними, также описанных с помощью лингвистических переменных.

Для каждого из выделенных объектов определяются значения основных признаков словесного описания: размер, положение, форма, наклон (для контура), цвет [9]. Для каждого из них определен набор возможных нечетких значений, наименования и функции принадлежности которых определяются типом физического объекта.

- Признак *размера* определяется относительно других распознанных частей лица в трех, пяти или семи градациях, функции совместимости и наименования термов для которых назначаются в зависимости от элемента (рис. 3).

- Признак *положения* определяется относительно других распознанных частей лица, в том числе вспомогательных элементов. При этом учитываются координаты и относительный наклон составных частей элементов. Например, *Положение бровей относительно линии зрачков*: *Косовнутреннее* (линия бровей скошена к переносью), *Горизонтальное* (линия бровей приблизительно параллельна линии зрачков), *Косонаружное* (линия бровей скошена к вискам); описание относительного расположения частей лица: *Ниже*, *Выше*, *Ближе* и др.

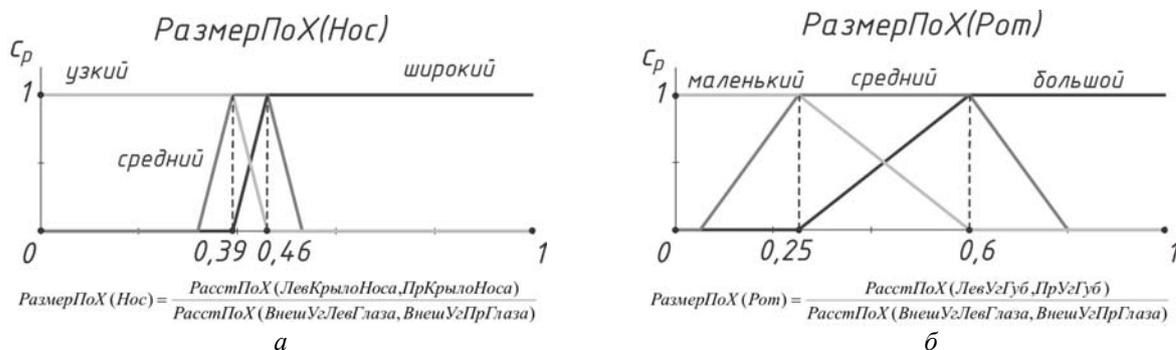


Рис. 3. Функции совместимости лингвистической переменной *Размер*:
а – функции совместимости для размера (ширины) носа; б – функции совместимости для размера рта

- Признак *цвета* определяется относительно среднего цвета распознанных частей лица (*Румяные щеки; Светлые волосы*). Возможно также абсолютное определение цвета на основе соотношения различных цветовых компонент (оценка основного тона кожи, цвета волос), однако корректность этой оценки зависит от условий освещения.

- Признаки *формы* (для областей) и *наклона* (для контуров) являются абсолютными: лицо *Овальное, Треугольное* и др.; брови *Прямые, Извилистые* и др. Набор возможных значений признака определяется типом физического объекта.

- Особые *составные* признаки (особенности): *Морщинистое лицо*, наличие *родинки* и *шрамов*.

Для получения значений абсолютных и относительных признаков выполняется обращение к вершинам и дугам заполненного графа объекта соответственно.

Каждому из признаков физического объекта сопоставляется весовой коэффициент в зависимости от частоты встречаемости – идентификационная значимость. Так, признак *Искривленная форма носа* более значим для словесного портрета, чем *Высокий лоб*. Часто встречающиеся признаки, не представляющие интереса

для словесного портрета, при формировании окончательного описания могут быть опущены.

4. Логический анализ формы физических объектов

Расчет совместимости для качественных значений признака осуществляется на основе соответствующей ему базовой переменной, принимающей значения в интервале [0, 1]. Вычисление ее значения может заключаться как в расчете определенного критерия (например, для признака размера – отношения размеров объектов или расстояний между объектами; рис. 3), так и потребовать логического вывода. Логический вывод применяется при анализе признака формы и составных признаков. При этом каждому качественному значению сопоставляются продукционные правила, в которых накладываются ограничения на признаки объекта.

В таблице приведен ряд продукционных правил для признака *Форма лица* [7, 9]. Для определения ширины лица в различных плоскостях выполняются вспомогательные построения *ЛинияСкул(Лицо)*, *ЛинияНижнейЧелюсти(Лицо)*, *ЛинияЛба(Лицо)* – горизонтальные сечения области *Лицо* на соответствующих уровнях.

Продукционные правила для признака *Форма лица*

Признаки	Форма лица
$\frac{\text{ОтнРазмерПоХ(ЛинияЛба(Лицо), ЛинияСкул(Лицо))}}{\text{ОтнРазмерПоХ(ЛинияСкул(Лицо), ЛинияНижнейЧелюсти(Лицо))}} = \text{Примерно равны} \wedge$ $\wedge \frac{\text{ОтнРазмерПоХ(ЛинияСкул(Лицо), ЛинияНижнейЧелюсти(Лицо))}}{\text{Соотношение(РазмерПоХ(Лицо), РазмерПоУ(Лицо))}} = \text{Меньше}$	Прямоугольное
$\text{Очертания(Лицо)} = \text{Плавные} \wedge$ $\wedge \frac{\text{Соотношение(РазмерПоХ(Лицо), РазмерПоУ(Лицо))}}{\text{Соотношение(РазмерПоХ(Лицо), РазмерПоУ(Лицо))}} = \text{Меньше}$	Овальное
$\text{Очертания(Лицо)} = \text{Плавные} \wedge$ $\wedge \frac{\text{Соотношение(РазмерПоХ(Лицо), РазмерПоУ(Лицо))}}{\text{Соотношение(РазмерПоХ(Лицо), РазмерПоУ(Лицо))}} = \text{Примерно равны}$	Круглое
$\frac{\text{ОтнРазмерПоХ(ЛинияЛба(Лицо), ЛинияСкул(Лицо))}}{\text{ОтнРазмерПоХ(ЛинияЛба(Лицо), ЛинияНижнейЧелюсти(Лицо))}} = \text{Больше} \wedge$ $\wedge \frac{\text{ОтнРазмерПоХ(ЛинияЛба(Лицо), ЛинияНижнейЧелюсти(Лицо))}}{\text{Соотношение(РазмерПоХ(Лицо), РазмерПоУ(Лицо))}} = \text{Значительно больше}$	Треугольное

5. Представление информации об изображении в базе данных

Программная система, разработанная на основе описанных методов, включает в себя модули распознавания характерных точек лица и построения словесного портрета по заданным фотографиям.

При векторизации изображений и дальнейшем распознавании характерных элементов заполняется база данных изображения. В ней представлены сведения о цепочках геометрических примитивов, составляющих контуры и границы областей, а также сопоставленных им физических объектах. Распознавание реализо-

вано в виде SQL-запросов к разделу базы данных, содержащему результаты векторизации. По результатам запросов вычисляются нечеткие параметры и заносятся в раздел, содержащий сведения о соответствующих вершинах и дугах графа объекта. Таким образом, запросы могут обращаться к атрибутам объектов и отношений между ними.

Словесный портрет представляет собой отчет к разделу базы данных, описывающему граф объекта. Представление нечеткого графа объекта в базе данных позволяет пользователю системы формулировать запросы к выделенным физическим объектам в терминах лингвистических переменных. Благодаря этому содержащаяся в отчете таблица запросов и их результатов может быть приближена к традиционному словесному портрету.

В результате обработки фотографий, представленных на рис. 1, получено следующее словесное описание [7; 9]:

Лицо овальное, вытянутое. Лоб высокий. Брови дугообразные, длинные, низкие, темные. Длина глазной щели малая. Большое расстояние между наружными углами глаз. Положение глаз горизонтальное. Глаза темные. Спинка носа широкая. Рот прямой, малый. Углы рта горизонтальные. Носогубная выемка мелкая. Скулы средние. Подбородок угловатый, высота средняя, широкий. Губы широкие. Верхняя губа малая. Ушные раковины малой высоты. Волосы темные. Линия роста волос прямая.

Заключение

Сущность предлагаемого метода вербализации заключается в извлечении из графа изображения ответов на вопросы о значениях параметров вершин, ребер и отношений между ними. Данный подход позволяет гибко и на высоком уровне описать свойства исследуемого объекта.

Повышение качества и детальности словесного описания может быть достигнуто за счет

пополнения набора доступных составных признаков, подбора оптимальных функций принадлежности, дополнения алгоритма анализа формы, а также усложнения грамматики словесного портрета.

Разрабатываемая система может использоваться для быстрого построения трехмерной модели и подробного словесного портрета по заданной паре фотографий в фас и профиль, поиска в базах данных (в том числе Интернет-базах) изображений лиц с заданными характеристиками и похожих лиц по запросам, сформулированным на языке, близком к естественному. Описанный подход к вербализации отношений также может быть применен при анализе изображений других объектов сложной структуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sinha P., Balas B., Ostrovsky Y., Russel R. Face Recognition by Humans: Nineteen Results All Computer Vision Researchers Should Know About // Proceedings of the IEEE. Vol. 94, No. 11, November 2006. P. 1948–1962.
2. S.Z. Li, A.K. Jain. Handbook of face recognition. – NY, Springer Science+Business Media, 2005. – 395 p.
3. Face Processing. Advanced Modeling and Methods / edited by W. Zhao, R. Chellappa. – Elsevier: Academic Press, 2005. – 768 p.
4. *Вежневц, В. П.* Использование контурных моделей для выделения черт лица на фронтальном изображении / В. П. Вежневц // Труды конференции «Математические методы распознавания образов» (ММРО-10), 2001. – С. 179–181.
5. Kuchuganov A.V. Recursions in tasks of images analysis // Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-9-2008). V. 1. P. 365–367.
6. *Фу, К.* Структурные методы в распознавании образов / К. Фу. – М.: Мир, 1977. – 314 с.
7. *Зинин, А. М.* Криминалистическая фотопортретная экспертиза : учеб. пособие / А. М. Зинин, Л. З. Кирсанова ; под ред. В. А. Снеткова, З. И. Кирсанова. – М.: ВНКД МВД СССР, 1991. – 88 с.
8. *Заде, Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
9. *Топорков, А. А.* Словесный портрет : практич. пособие / А. А. Топорков. – М.: Юристъ, 1999. – 112 с.

УДК 004.4'413

*С. В. Пашаев, О. А. Сычев***АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ СООБЩЕНИЙ ОБ ОШИБКАХ
В ВОПРОСЕ С ОТКРЫТЫМ ОТВЕТОМ
НА ОСНОВЕ РАЗНИЦЫ МЕЖДУ СИНТАКСИЧЕСКИМИ ДЕРЕВЬЯМИ
ПРОВЕРЯЕМОГО И ЭТАЛОННОГО ОТВЕТОВ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: pashaev.sergey@gmail.com

Предлагается способ формирования сообщения о синтаксических ошибках в ответе на открытый вопрос на основе разности синтаксических деревьев эталонного и проверяемого ответа.

Ключевые слова: наибольшая общая подпоследовательность, абстрактное синтаксическое дерево, открытый ответ, синтаксический анализ, синтаксическая ошибка.

*S. V. Pashaev, O. A. Sychev***AUTOMATED GENERATION OF ERROR MESSAGE REGARDING OPEN QUESTION BASED
ON DIFFERENCE BETWEEN CORRECT AND SUBMITTED SYNTACTIC TREES****Volgograd State Technical University**

A method for generating an error message regarding open question based on difference between correct and submitted syntactic trees. The proposed method allows to construct a human-readable syntactic error message in natural language.

Keywords: LCS, abstract syntax tree, open questions, syntax analysis, parser, syntactic error.

На данный момент в ВолгГТУ активно используется автоматизированное тестирование студентов по различным специальностям и направлениям (особенно на специальностях, связанных с программированием). Множество вопросов сопряжено с программным кодом и студентам необходимо находить в нем ошибки, исправлять их, а также писать собственные фрагменты кода, согласно заданию.

Студенты регулярно совершают ошибки синтаксического характера, когда изучают новый для себя язык программирования и еще плохо знакомы с его синтаксисом. Часто случается так, что студент не понимает, в чем его ошибка, а преподавателя нет рядом, чтобы объяснить причину (например, при прохождении тренировочных тестов, которые можно проходить удаленно в любое время). Одна из причин такой проблемы – неполнота информации в сообщениях об ошибках. Поэтому задача создания информативного сообщения об ошибке в вопросно-ответных системах автоматизированного тестирования актуальна и важна [1].

Многие тестовые вопросы с открытыми ответами позволяют указать большое количество вариантов правильных ответов и выдают оценку на основании варианта, наиболее близкого к ответу студента. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать сравнение ответа студента с одним правильным ответом.

Возникает проблема создания достаточно информативного сообщения о синтаксической

ошибке или подсказки в случае неверного ответа. Существующие способы генерации сообщений обладают рядом недостатков и ограничений, не позволяющих предоставить студенту необходимый объем информации для прекращения подобных ошибок в будущем [5]. Лучший из них – это способ, основанный на анализе наибольших общих подпоследовательностей лексем (LCS – Longest Common Subsequence) [3]. Предлагаемый способ анализа ответа и генерации сообщений является его развитием и должен обеспечить возможность фиксировать перемещения не отдельных лексем, а групп лексем, которые вместе образуют синтаксические конструкции. Для анализа ответа студента и генерации информативного сообщения об ошибке используется синтаксический анализ в комбинации с поиском LCS. Авторами был разработан способ получения имени определенного узла в абстрактном синтаксическом дереве (АСД) благодаря специальному формату записи грамматики [5].

Процесс анализа состоит из следующих этапов:

- 1) поиск LCS;
- 2) создание АСД эталонного ответа;
- 3) разметка дерева;
- 4) анализ лексем, не попавших в LCS;
- 5) выбор лучшего покрытия дерева;
- 6) определение списка узлов, которые необходимы для сообщения об ошибке;
- 7) генерация сообщения.

Таблица 1

Пример эталонного ответа, проверяемого ответа и их LCS

Номер лексемы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Эталон	int	swprintf	(	char	*	s	,	int	n	,	char	*	format)	;
Проверочный ответ	<i>int</i>	<i>n</i>	;	int	swprintf	(	char	*	s	,	int	n	)	format	;
LCS				int	swprintf	(	char	*	s	,	int	n)	;	

Примечание. Курсивом выделены лексемы, которые не попали в LCS

список узлов, для которых необходимо попытаться найти место в дереве (отсутствующий узел с соответствующим типом и значением). Узлы, нанесенные на дерево, на данном этапе должны быть отдельно помечены как «перемещенные». Поскольку возможны различные комбинации и варианты нанесения узлов, полученных из лексем, не попавших в LCS, то необходимо найти все варианты разметки дерева и выбрать тот, где «покрытие» максимально, то есть получено наибольшее количество узлов из

лексем, не попавших в LCS.

Прежде чем начать формировать текст сообщения об ошибке (для примера в табл. 2), необходимо определить, какие узлы нужно упомянуть в нем. В сообщении должны упомянуться отсутствующие и перемещенные узлы, которые расположены ближе всех к корню (рис. 2): «тип второго аргумента», «запятая между вторым и третьим аргументом функции», «третий аргумент».

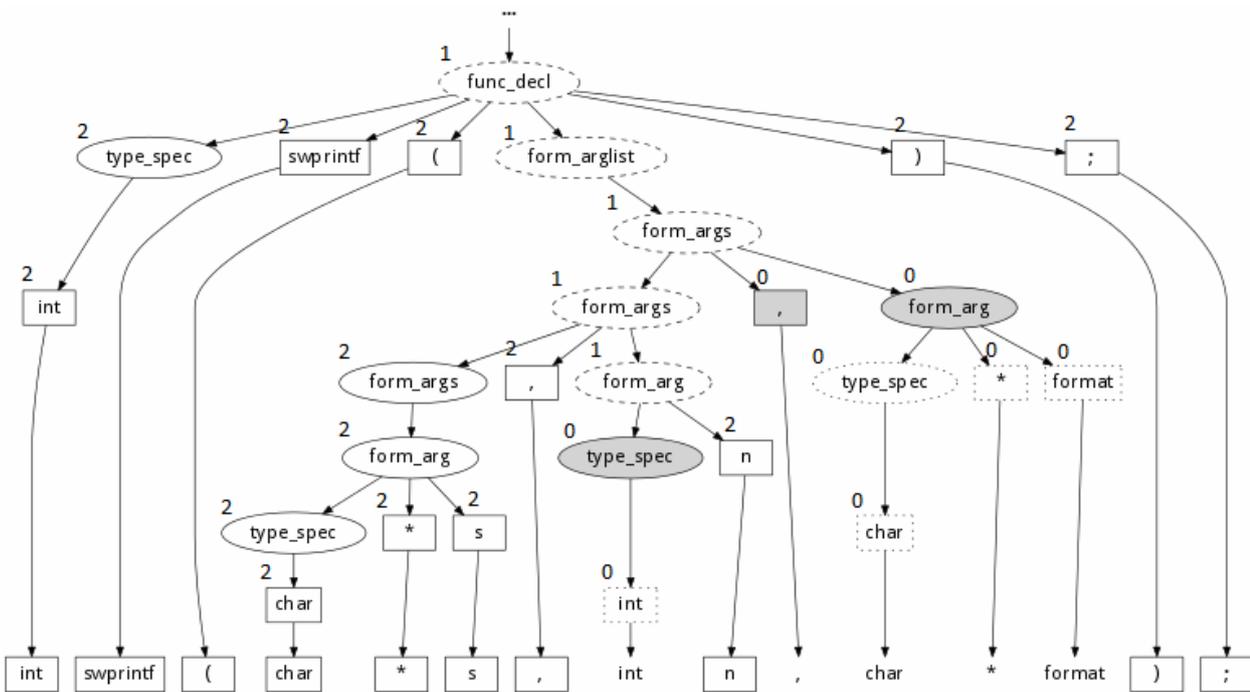


Рис. 2. Закрашенные узлы участвуют в формировании сообщения

Таблица 2

Пример эталонного ответа, проверяемого ответа и их LCS

Номер лексемы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Эталон	int	swprintf	(	char	*	s	,	int	n	,	char	*	format)	;
Проверочный ответ	<i>int</i>	<i>n</i>	;	int	swprintf	(	char	*	s	,	<i>n</i>)	;
LCS				int	swprintf	(	char	*	s	,	n)	;

Примечание. Курсивом выделены лексемы, которые не попали в LCS.

В данном примере в дереве отсутствует узел «type_spec» – спецификатор типа «int». Теперь система может сделать предположение о том, что узел в ответе не отсутствует, а просто находится в неверном месте, что отразится соответствующим образом в сообщении об ошибке.

Представим, что в ответе студента данном примере также отсутствует лексема «n»; тогда анализ лексем, не попавших в LCS, показывает, что фрагмент «int n;» может сворачиваться в

различные узлы: объявление переменной – «int n;», объявление аргумента функции – «int n» (рис. 3, а), спецификатор типа «int» (рис. 3, б), идентификатор «n» (рис. 3, в). Все варианты свертки этого фрагмента должны быть рассмотрены и должен быть проведен поиск в дереве узлов, помеченных как отсутствующие, которые имеют такой же тип и значение как и найденные при анализе фрагмента, не попавшего в LCS.

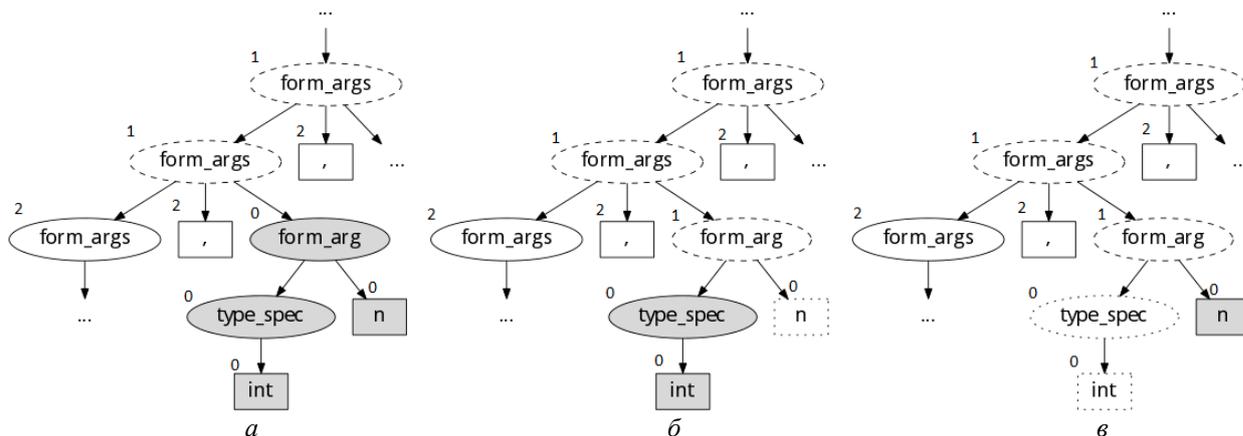


Рис. 3. Варианты покрытия дерева лексемами, не попавшими в LCS

В данном примере (рис. 3) максимальное покрытие обеспечивает вариант «а» – лексемы не попавшие в LCS свернулись в четыре узла («б» – два узла; «в» – один узел).

Стоит отметить, что в список узлов для формирования сообщения должны попадать самые «верхние» отсутствующие узлы, так как это позволяет не перечислять все дочерние узлы или отдельные лексемы. В сообщение об ошибке попадают узлы, соответствующие максимально высоким синтаксическим конструкциям, в которых есть ошибка.

Существует специальный формат записи грамматики, позволяющий сформировать имя узла в АСД на естественном языке [5]. Также известен список узлов, которые необходимо упомянуть в сообщении. На данном этапе формируется список строк имен всех узлов, где к каждой строке добавляется описание типа ошибки (отсутствие или перемещение) и позиция соответствующего узла (каждый узел в дереве хранит минимальную начальную позицию своих дочерних узлов и максимальную конечную позицию в исходном тексте ответа).

В дальнейшем планируется разработать тип вопроса для системы дистанционного обучения «Moodle», в котором будет применен предло-

женный метод, и внедрить его в учебный процесс дисциплины «Основы программирования».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соловов, А. В. Электронное обучение: проблематика, дидактика, технология [Электронный ресурс] / А. В. Соловов. – 2011. – Режим доступа : http://cnit.ssau.ru/news/book_solovov/1.html.
2. Ахо, А. Компиляторы: принципы, технологии и инструменты : пер. с англ. / А. Ахо, В. Сети, Д. Ульман. – М. : Вильямс, 2003. – 768 с. : ил.
3. Коновалов, И. В. Тренажер для задач объявления, описания и вызова функций / И. В. Коновалов, О. А. Сычев // XV региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (Волгоград, 9–12 ноября 2010 г.) : тез. докл. / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2011. – С. 206–207.
4. Пашаев, С. В. Применение синтаксического анализа при генерации сообщений об ошибках в тестовых заданиях со свободно-конструируемым ответом / С. В. Пашаев, О. А. Сычев // Тезисы докладов смотря-конкурса научных, конструкторских и технологических работ студентов ВолгГТУ, Волгоград, 10–13 мая 2011 г. / ВолгГТУ, Совет СНО. – Волгоград, 2011. – С. 195–196.
5. Сычев, О. А. Генерация человекопонятных наименований узлов синтаксических деревьев для языков, заданных контекстно-свободными грамматиками / О. А. Сычев, Д. В. Литовкин, С. В. Пашаев // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11(84) / ВолгГТУ. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 12). – С. 114–117.

УДК 004.021

*А. Б. Татаридзе, В. Н. Скакунов***АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ
ФАЗЫ БЫСТРОГО СНА ПО ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА
НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: leksotat@gmail.com, svn@vstu.ru

Данное исследование посвящено разработке алгоритма автоматической идентификации фазы быстрого сна (ФБС) на основе спектрального анализа variability сердечного ритма (BCP). Для определения ФБС используется бинарный классификатор на основе метода опорных векторов (SVM – support vector machines). Критериями для классификации выбраны следующие параметры: отношение мощности волн очень низкой частоты (VLF) к мощности волн высокой частоты (HF) и отношение мощности волн низкой частоты (LF) к HF.

Ключевые слова: фаза быстрого сна, полисомнография, variability сердечного ритма, метод опорных векторов, спектральный анализ.

*А. В. Tataraidze, V. N. Skakunov***AUTOMATIC DETECTION OF REM SLEEP FROM HEART RATE
VARIABILITY USING SUPPORT VECTOR MASHINES****Volgograd State Technical University**

In this research, we used heart rate variability parameters to automatically detect REM sleep. We used support vector machines for binary classification. As the criteria for the classification the following parameters are chosen: ratio of the power of waves of very low frequency (VLF) to the power of waves of high frequency (HF), and ratio of the power of waves of low frequency (LF) to HF.

Keywords: REM sleep, polysomnograph, heart rate variability, support vector mashine, frequency spectrum.

Введение

Сон является важной составляющей жизни человека. Он неоднороден и состоит из циклов, которые, в свою очередь, состоят из фаз быстрого (ФБС) и медленного (ФМС) сна. Нарушение естественных циклов сна может повлечь за собой повышенную утомляемость, психоэмоциональные расстройства, негативные последствия для сердечнососудистой и нервной системы.

В настоящее время для исследования и диагностики сна применяют методы полисомнографии (ПСГ). Электрофизиологическая полиграфия сна позволяет получить большой объем информации о состоянии человека, исследовать структуру и диагностировать заболевания сна.

Следует отметить, что ПСГ связана со значительным дискомфортом для исследуемого и, как следствие, уменьшает информативность и достоверность полученных данных. В связи с этим актуальной проблемой является уменьшение количества датчиков и электродов, прикрепляемых к телу испытуемого.

Одной из интересных с научной и практической точки зрения задач является создание устройства для пробуждения человека в оптимальный для психоэмоционального состояния момент. Очевидно, что для решения этой зада-

чи необходимо иметь возможность идентификации ФБС в структуре сна. Поскольку для быстрого применения ПСГ не подходят в силу своей специфичности, то актуальной задачей является распознавание ФБС альтернативными методами.

В работах [1; 2] показана статистическая значимость спектральных показателей variability сердечного ритма (BCP) в оценке структуры сна.

В исследовании [3] решали задачу обратной регрессии для разработки алгоритма автоматической идентификации дельта сна (3–4 стадии ФМС). Работа [4] посвящена определению ФБС по тону периферических сосудов и данным актиграфии запястья. В исследовании [5] было продемонстрировано распознавание участков сна и бодрствования на ЭКГ с помощью метода опорных векторов, многослойного перцептрона и сетей векторного квантования обучаемыми с учителем.

В настоящей работе решается задача определения ФБС по ЭКГ с помощью метода бинарной классификации – SVM.

Экспериментальные данные

В исследование включены данные 25 исследуемых (21 мужчина), в возрасте 26–68 лет

(50±10 лет), которым проводилась ночная ПСГ («Jaeger-Toennies», ErichJaeger, Германия), с параллельным синхронным трехканальным холтеровским мониторингом ЭКГ («ReynoldsLifecard CF», Reynolds Medical, Великобритания). Исследуемые поступили в клинику с подозрениями на обструктивное апноэ, центральное апноэ и первичный храп. Экспериментальные данные [6] получены из банка физиологических сигналов PhysioNet [7].

При ПСГ регистрировалась электроэнцефалограмма (ЭЭГ) в отведениях C3-A2, C4-A1, электроокулограмма, подбородочная электромиограмма, ороназальный поток, брюшное и грудное дыхательные усилия, ЭКГ, сатурация кислорода, храп и положение тела. Оценка ПСГ и построение гипнограммы осуществляли в соответствии с критериями A. Rechtschaffen и A. Kales (1968) [8].

Данные 17 исследуемых использовались для построения классификатора в качестве обучающей выборки; оставшиеся использовались в качестве контрольной выборки, на которой проверялась работа алгоритма.

Подготовка данных

Программно реализованы несколько этапов предобработки экспериментальных данных перед их использованием для построения классификатора;

1) идентификация QRS-комплекса на ЭКГ (рис. 1). В процедуре идентификации за основу принят алгоритм Пана – Томпкинса [9];

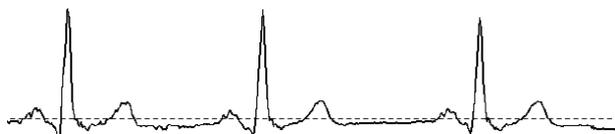


Рис. 1. Электрокардиограмма

2) подсчет длительности R-R интервалов, т. е. временных интервалов между соседними R зубцами PQRST-комплекса ЭКГ (рис. 2). Построение ритмограммы (рис. 3);

3) поиск и удаление артефактов. Кардиоинтервал удалялся, если он нарушал два критерия: отличался больше чем на +/- 20 % от медианы

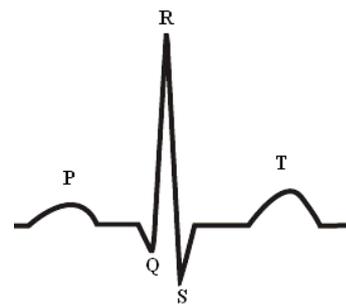


Рис. 2. PQRST-комплекс ЭКГ

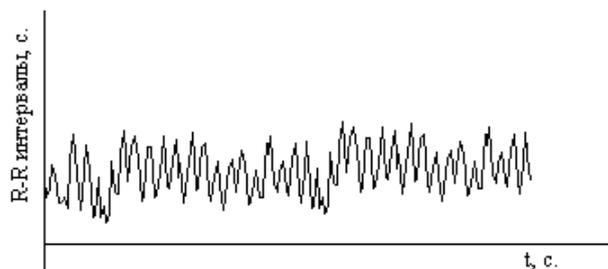


Рис. 3. Ритмограмма

соседних 25 интервалов и на +/- 20 % от последнего принятого интервала [10]. Удаленный интервал интерполировался кубическими сплайнами;

4) построение эпох. Разделим ритмограмму на эпохи скользящим окном шириной 5 мин с шагом в 30 с. Ширина окна связана с минимальной рекомендуемой продолжительностью записи для анализа ВСР [11];

5) выделим в каждой эпохе составляющие ее волны с помощью быстрого преобразования Фурье;

6) расчет следующих показателей для каждой эпохи: мощности волн высокой частоты HF с диапазоном 0,4–0,15 Гц, мощности волн низкой частоты LF (0,15–0,04 Гц), мощности волн очень низкой частоты VLF (0,04–0,0033 Гц);

7) подготовка данных о временных интервалах ФБС. Гипнограмма была упрощена (рис. 4), а эпохи разделены на два класса: ФБС и не фаза быстрого сна (ФБС). Таким образом, ФБС включает в себя не только ФМС, но и период, когда исследуемый бодрствует. Самостоятельные отрезки одного из классов длиной менее 3 мин и ограниченные эпохами второго класса считались принадлежащими ко второму классу.



Рис. 4. Упрощенная гипнограмма

Метод опорных векторов

В рассматриваемом алгоритме предлагается решение одной из основных задач – классификации объектов двух классов, – основанное на методе опорных векторов (от англ. Support Vector Machine – SVM) [12], занимающем ведущее место среди методов бинарной классификации.

Сформулируем задачу классификации. Пусть $X = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^l$ – обучающая выборка, где x_i – вектор признаков i -го объекта; y_i – характеристика, приписываемая объекту. Требуется по обучающей выборке построить такую решающую функцию $f(x)$ (классификатор), которая бы сопоставляла класс y произвольному объекту x .

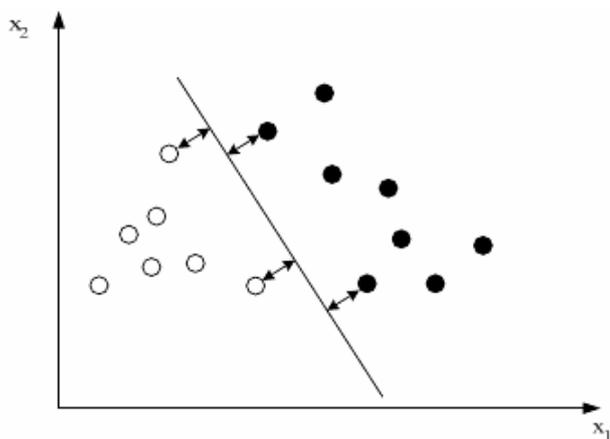


Рис. 5. SVM в двухмерном пространстве

В SVM функцией $f(x)$ является гиперплоскость, разделяющая объекты двух классов, расстояние до которой от ближайших точек каждого класса максимальны (рис. 5).

В случае линейно неразделимой выборки в SVM пространство признаков R^n вкладывается в пространство более высокой размерности H с помощью отображения $\varphi: R^n \rightarrow H$. Классифицирующая функция примет вид:

$$f(x) = \text{sign}(\langle w, \varphi(x) \rangle + b),$$

где w – вектор весовых коэффициентов; b – некоторое число.

Для построения классификатора прежде всего необходимо вычислить функцию $K(x, x') = (\varphi(x), \varphi(x'))$, которая называется *ядром*.

В качестве ядра чаще всего встречаются сигмоидальная, полиномиальная и радиальная базисная функции.

Для решения поставленной задачи в качестве признаков объекта x были приняты:

- 1) отношение мощности волн очень низкой частоты к мощности волн высокой частоты (VLF/HF);
- 2) отношение мощности волн низкой частоты к мощности волн высокой частоты (LF/HF).

Выбор этих параметров вызван их достаточно высокой достоверностью в определении ФБС, что согласуется с данными в работе [1] и подтверждается проведенными экспериментами.



Рис. 6. Сравнение исходной упрощенной гипнограммы и полученной классификатором

В качестве характеристики y выбраны классы ФБС и $\overline{\text{ФБС}}$. Для проверки работы предложенного алгоритма с различными типами ядер использовались реализации SVM, приведенные в библиотеке LIBSVM.

Классификатор относит эпоху к одному из двух классов. На этой основе строится упрощенная гипнограмма (рис. 6) путем склеивания соседних эпох одного класса. Самостоятельные

эпохи продолжительностью менее 3 мин считаются принадлежащими к другому классу.

Заключение

Для метода опорных векторов не существует общего подхода к автоматическому выбору ядра, поэтому была проведена серия экспериментов с наиболее распространенными ядрами, реализованными в LIBSVM. Полученные результаты представлены в таблице.

Точность распознавания

Ядро	Точность распознавания, %	
	Обучающая выборка	Контрольная выборка
Радиальная базисная функция Гаусса	78,2	71,6
Сигмоид	28,2	23,4

Согласно полученным результатам, довольно уверенное распознавание дает использование радиальной базисной функции Гаусса.

Таким образом, получен классификатор, который может довольно точно определять ФБС. Следует отметить, что у предложенного алгоритма есть ограничение – он не позволяет идентифицировать фазы продолжительностью менее 3 мин.

Для повышения качества распознавания представляется возможным использовать не только анализ ВСР, но и анализ показателей респираторной системы или использование алгоритмической композиции полученного классификатора и других методов анализа ВСР.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронин, И. М. Возможности холтеровского мониторинга в оценке структуры сна / И. М. Воронин, Е. В. Бирюкова // Вестник Аритмологии. – 2005. – № 40. – С. 25–28.
2. Elsenbruch, S. Heart rate variability during waking and

sleep in healthy males and female / S. Elsenbruch, J. Harnish, W. C. Orr // Sleep. – 1999. – № 8. – P. 1067–1071.

3. Automatic detection of slow-wave-sleep using heart / Z. Shinar [et al.] // Computers in Cardiology. – 2001. – № 28. – P. 593–596.

4. Detecting REM sleep from the finger: an automatic REM sleep algorithm based on peripheral arterial tone (PAT) and actigraphy / S. Herscovici [et al.] // Physiological measurement. – 2007. – № 28. – P. 129–140.

5. Comparison of Detrended Fluctuation Analysis and Spectral Analysis for Heart Rate Variability in Sleep and Sleep Apnea / T. Penzel [et al.] // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2003. – № 10. – P. 1143–1151.

6. St. Vincent's University Hospital / University College Dublin Sleep Apnea Database [Electronic Resource]. – [2012]. – Mode of access: <http://physionet.org/physiobank/database/ucddb/>

7. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals [Electronic Resource] / Goldberger A. [et al.] – [2012]. – Mode of access : <http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/101/23/e215>

8. Rechtschaffen, A. A manual of standardized terminology, techniques, and scoring system for sleep stages of human subjects / A. Rechtschaffen, A. Kales. – Washington D. C. : NIH publication, 1968. – P. 204.

9. Pan, J. A Real-Time QRS Detection Algorithm / J. Pan, W. J. Tompkins // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 1985. – № 3. – P. 230–236.

10. Xu, X. Automatic detection of artifacts in heart period data / X. Xu, S. Schuckers // Journal of Electrocardiology. – 2001. – № 33. – P. 205–210.

11. Бабунц, И. В. Азбука анализа variability сердечного ритма / И. В. Бабунц, Э. М. Мириджанян, Ю. А. Машаех. – Ставрополь. – 2002. – 111 с.

12. Vapnik, V.N. The Nature of Statistical Learning Theory / V.N. Vapnik. – 2nd ed. – New-York : Springer-Verlag, 1999. – 314 p.

УДК 004.896

Н. Н. Филатова, А. Г. Требухин

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Тверской государственный технический университет

E-mail: trebuchin2010@yandex.ru

Рассмотрен алгоритм синтеза множества альтернатив функциональных схем для заданного варианта структурной схемы и не полностью определенных требований к технической реализации составляющих ее блоков. Алгоритм основан на выделении ограниченного числа базовых структур, построении шаблонов технических реализаций схемы и последующей их компоновке.

Ключевые слова: структурная схема, функциональная схема, структурный синтез, базовая структура, шаблон схемы, дерево схемотехнических решений.

N. N. Filatova, A. G. Trebukhin

STRUCTURE SYNTHESIS OF AUTOMATION SCHEMES IN TERMS OF INCOMPLETE REQUIREMENTS FOR THE TECHNICAL IMPLEMENTATION

Tver State Technical University

An algorithm for the synthesis of functional schemes alternatives for the set variant of the block scheme and short defined requirements for block scheme's parts technical implementation has been considered. The algorithm is based on the allocation of a bounded set of basic structures, building templates of scheme's technical realization and their subsequent packaging.

Keywords: block scheme, functional scheme, structure synthesis, basic structure, scheme's template, decision-tree schemes model.

Введение

Работа большинства объектов промышленности требует высокой степени автоматизации технологических процессов, причем с каждым годом и уровень автоматизации, и качественные требования к ней увеличиваются. На разработку АСУТП затрачиваются огромные интеллектуальные и временные ресурсы. В такой ситуации назревает необходимость оптимизации существующих методов проектирования АСУТП.

Анализ современных методик разработки систем автоматизации показывает, что методы автоматизированного проектирования и программные средства их реализации применяются, в основном, в стадии разработки принципиальных и монтажных схем, а также спецификаций на используемые материалы и оборудование. В связи с этим возникает необходимость создания интеллектуальных средств проектирования взаимосвязанных схемных решений промышленных сетей автоматики, в частности, разработки алгоритмов автоматической генерации схемотехнических решений АСУТП на основе требований к ее структуре и назначению.

Особенности структурного синтеза схем систем автоматизации

Процесс разработки решений по технической реализации системы автоматизации технологического процесса осуществляется на основе нисходящей стратегии проектирования. В частности, существует четырехуровневая иерархия схем [1]: структурная => функциональная => электрическая => монтажная. Структурная схема системы автоматизации является ее изображением в виде совокупности звеньев (элементов) с указанием связей между ними. Структурную схему составляют на основе технического задания (ТЗ). Функциональная схема системы автоматизации содержит набор элементов из множества технических средств автоматизации (ТСА) и связей между ними, представляющий реализацию структурной схемы. Принципиальная электрическая схема (ПЭС) отражает привязку каждой связи элемента к разъему (с учетом функциональной согласованности) с последующим назначением контактов на разъеме. Монтажная схема показывает либо внешние соединения между отдельными элементами, входящими в состав системы автоматизации, либо соединения внутри отдельных элементов.

Синтез системы автоматизации включает последовательные этапы создания и описания структурной, функциональной, принципиальной электрической и монтажной схем. Генерация функциональных и принципиальных электрических схем систем автоматизации относится к задачам структурного синтеза. Постановки и методы решения задач структурного синтеза в связи с трудностями формализации не достигли степени обобщения и детализации, свойственной математическому обеспечению процедур анализа. Достигнутая степень обобщения выражается в установлении типичной последовательности действий и используемых видов описаний при их преобразованиях в САПР [2; 3; 4].

В структурном синтезе система автоматизации рассматривается как состоящая из взаимосвязанных функциональных блоков и узлов, организованных таким образом, чтобы их функционирование приводило к реализации заданных функций – регулированию, сигнализации и др. Одни и те же функции могут быть реализованы различными структурами, обеспечивающими производительность при различных затратах. Регулятор является звеном функциональной схемы, преобразующим сигналы измерительной информации в управляющие воздействия. Для получения схем, разнообразных по структуре, но выполняющих одни и те же функции, целесообразно генерировать функциональные схемы на основе различных регуляторов. К тому же эксплуатационные характеристики данных схем большей частью определяются моделью регулятора.

Исходными данными для синтеза функциональных схем являются структурная схема, параметры и характеристики отдельных элементов, требования к свойствам схемы в целом.

При синтезе функциональных схем придерживаются следующих допущений. Первым является развязка блоков функциональной схемы – независимость характеристик отдельных блоков от режима работы других. Вследствие этого преобразование сигнала зависит только от функции преобразования каждого блока, а не от их взаимного влияния. Также важным является допущение об отсутствии в элементе ТСА внутренней обратной связи [2], то есть сигнал на его выходе не влияет на сигнал на входе и распространяется только однонаправлено – от входа к выходу.

Для решения задачи структурного синтеза схем систем автоматизации последовательно выполняются следующие этапы:

– определение множества элементов ТСА, на котором может быть реализован требуемый класс схем. При этом каждому устройству из выбранного множества должна быть задана модель функционирования – функция преобразования, отражающая его назначение (например, преобразование температуры в один из унифицированных сигналов ГСП);

– формализация структурных связей выбранного множества элементов. Результатом этого шага проектирования должна стать отражающая связи между элементами ТСА структура;

– генерация вариантов функциональных схем;

– коррекция технического задания в случаях, когда не существует вариантов схем, обеспечивающих требуемые ограничения. Если коррекция произведена, то предыдущие этапы повторяют при новых ограничениях;

– оценка вариантов и выбор рациональной схемы системы автоматизации. Существует достаточно ограниченный набор количественных критериев, по которым можно оценить схемы автоматизации, к ним могут относиться экономические (стоимость) и надежность (интенсивность отказов) [5]. При оценке данных схем используются и качественные критерии, такие как простота монтажа, удобство обслуживания и др.

Проведенный обзор работ в области синтеза объектов, заданных структурными признаками, показал, что существующие на данный момент способы построения и анализа технических систем (агрегативно-декомпозиционный подход, морфологический синтез) невозможно напрямую применить к задаче синтеза множества альтернатив схем систем автоматизации.

Агрегативно-декомпозиционный подход к синтезу технических решений [6], реализованный в программном продукте AutomatiCS 2008, заключается в чередовании процедур декомпозиции (уточнения структур и конкретных характеристик элементов) и агрегирования (подбора для некоторых классов и множеств функций многофункциональных технических элементов – многоканальных блоков питания и вторичных приборов, микропроцессорных модулей, многоканальных блоков управления приводами и др.). Данное программное обеспечение ориентировано на составление монтажных схем и обеспечение развитого человеко-машинного интерфейса, в то время как выбор

наиболее рационального варианта функциональной схемы системы автоматизации остается за проектировщиком.

Морфологический метод синтеза технических решений [7] предполагает наличие четко разграниченных обобщенных функциональных подсистем в составе проектируемой системы и заключается в компоновке из указанных подсистем технических решений и их оценке. Каждая обобщенная функциональная подсистема представляет собой совокупность элементов, выполняющих сходные физические операции с входными потоками энергии, вещества или информации. Основным условием применения таких таблиц является наличие в варианте схемы не более одного элемента из каждой подсистемы [7]. Это допущение нельзя реализовать в задаче синтеза систем автоматизации, так как в любой ее функциональной схеме могут присутствовать несколько элементов одного класса (преобразователи уровней сигналов, интерфейсы преобразователей и др.).

Учитывая вышеизложенное, актуальной становится разработка алгоритмов построения генераторов автоматического формирования схем технического обеспечения АСУТП. Данную задачу можно решить, применяя эвристический алгоритм синтеза функциональных схем систем автоматизации [1], который использует условия функциональной согласованности блоков в цепи и условия согласованности диапазонов используемых сигналов. Требования к технической реализации функциональной схемы в данном случае задаются в полном объеме, то есть для каждого звена исходной структурной схемы назначается свой блок: задаются элементы-истоки схемы (к примеру, первичные преобразователи), модель используемого регулятора, элементы-стоки схемы (исполнительные устройства). Целью генерации является проверка реализуемости связей указанных элементов и поиск промежуточных элементов в случае нереализуемости указанных связей. Проектировщик должен заранее знать, что для указанного им в техническом задании набора ТСА можно сгенерировать какой-либо вариант схемы, иначе весь процесс генерации не имеет смысла. При использовании полных требований к функциональным схемам в результате генерации получается сильно ограниченное число их альтернатив.

Структурный синтез функциональных схем в условиях не полностью заданных требований

к технической реализации предполагает решение указанной выше задачи на основе структурной схемы и задания по меньшей мере для одного ее блока хотя бы одной характеристики: для регулятора может быть задана фирма-производитель, для измерительного преобразователя – измеряемая физическая величина и принадлежность к некоторому классу датчиков (термометр сопротивления, термопара и др.).

Формализация задачи структурного синтеза систем автоматизации

Схему системы автоматизации можно рассматривать как совокупность цепей, типы которых целесообразно выделять по функциональному назначению. Проведенный анализ различных систем автоматизации показал, что по функциональному признаку можно выделить измерительные *IP*, исполнительные *IM*, корректирующие *RU* и интерфейсные *INT* типы цепей.

Пусть имеется некоторая схема *Sh*, включающая *n* цепей, для каждой из которых можно указать принадлежность к одному из вышеназванных типов. Всего на множестве *Sh* можно выделить максимум *m* типов цепей.

Рассмотрим задачу компоновки цепей из множества *Sh* в некоторые структуры $Z = \bigcup_{i=1}^l Z_i$, *l* – число структур. Каждая структура *Z_i* отвечает следующим ограничениям:

– $\forall Z_i \in Z : Z_i = \bigcup_{j=1}^{p_i} S_j$, *j* = 1, ..., *p_i*, причем

$$S_j \cap S_{j+1} = A_j ; A_j = S_j^{st} = S_{j+1}^{is}$$

Элемент *A_j* пересечения цепей *S_j* и *S_{j+1}* является стоком цепи *S_j* и истоком цепи *S_{j+1}* [1];

– образующие каждую структуру цепи должны быть разных типов.

Полученные структуры должны обладать следующими свойствами:

– количество типов структур *Q* заранее неиз-

вестно и определяется результатом решения задачи компоновки схемы *Sh*; $Q \geq 2$;

– в схему *Sh* может входить любое число структур одного типа, причем для любой структуры *Z_i* данного типа существует структура *Z_j* другого типа, имеющая с ней общие элементы *e* в количестве *r* единиц: $\forall Z_i \in Z : \exists Z_j :$

$$Z_i \cap Z_j = \bigcup_k^r e_k ;$$

– функциональная полнота структуры: с использованием найденных структур можно строить схемы систем автоматизации любых типов (одноконтурные, каскадные и др.).

С учетом введенных определений и ограничений постановка задачи формирования структур *Z* сводится к нахождению такого разбиения *Z⁰*, при котором:

– число типов структур должно быть минимальным:

$$Q(Z^0) = \min Q ; \tag{1}$$

– пересечение структур разных типов должно быть минимальным, то есть число *r_i* общих элементов одного класса для пар структур *Z_i* и *Z_j* разных типов следует свести к минимуму:

$$\bigcap_{i=1, j=i+1}^Q (Z_i, Z_j) = \bigcup_k^{r_i} e_k, r_i \in r, r_i > \min, \min(r) = 1, \tag{2}$$

На однотипные структуры данное ограничение не распространяется:

$$\bigcap_{i=1, j=i}^Q (Z_i, Z_j) = \bigcup_k^{r_i} e_k, r_i \in r, r_i = 0 \dots |Z_i| - 1, \tag{3}$$

$|Z_i|$ – число элементов структуры *Z_i*.

Например, на рис. 1, *a* задана структурная схема *Sh* каскадной системы регулирования, дополненная контуром сигнализации (ИП – измерительный преобразователь; РУ – регулятор; ИУ – исполнительное устройство):

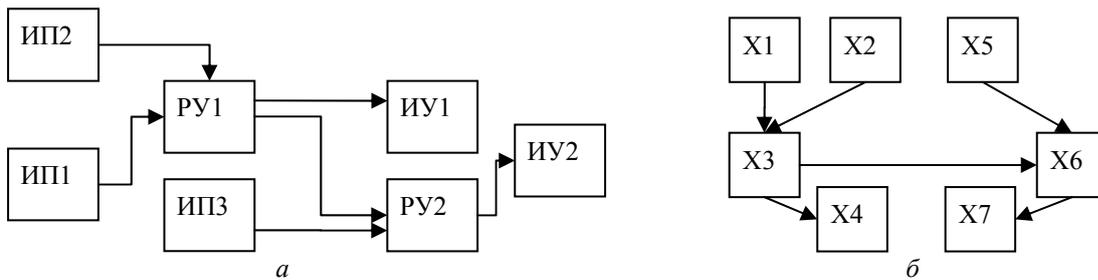


Рис. 1. Пример структурной схемы АСУТП (а) и ее мультиграфа (б)

Схема Sh содержит три измерительных цепи, две исполнительных и одну корректирующую. Чтобы решить задачу разбиения схемы Sh , представим ее в виде мультиграфа $G=(X,U)$, где X – множество вершин графа G – структурных элементов схемы Sh (X1-ИП1, X2-ИП2, X3-РУ1, X4-ИМ1, X5-ИП3, X6-РУ2, X7-ИМ2);

U – множество дуг графа G , представляющих совокупность цепей схемы (рис. 1, б). Граф G имеет три корневых вершины X1, X2 и X5 и две висячих вершины X4 и X7.

Рассмотрим множество путей $S1-S5$ из корневых вершин в висячие:

$$\begin{aligned} S1 &= \{X1, X3, X4\}, \quad S2 = \{X2, X3, X4\}, \quad S3 = \{X5, X6, X7\}, \\ S4 &= \{X1, X3, X6, X7\}, \quad S5 = \{X2, X3, X6, X7\}, \quad S1 \cap S3 = 0, \quad S2 \cap S3 = 0; \\ S1 \cap S2 &= \bigcup_{k=1}^{r_1} e_k, \quad e_1 = X3, e_2 = X4, r_1 = 2; \\ S1 \cap S4 &= \bigcup_{k=1}^{r_2} e_k, \quad e_1 = X1, \quad e_2 = X2, \quad r_2 = 2, \quad r_2 > 1 \rightarrow r_2 \neq \min(r); \\ S1 \cap S5 &= \bigcup_{k=1}^{r_3} e_k, \quad e_1 = X3, \quad r_3 = 1 = \min(r); \\ S4 \cap S5 &= \bigcup_{k=1}^{r_4} e_k, \quad e_1 = X3, \quad e_2 = X6, \quad e_3 = X7, \quad r_4 = 3, r_4 > 1 \rightarrow r_4 \neq \min(r); \\ S2 \cap S4 &= X3; \\ S3 \cap S4 &= S3 \cap S5 = \bigcup_{k=1}^{r_5} e_k, \quad e_1 = X6, \quad e_2 = X7, \quad r_5 = 2, r_5 > 1 \rightarrow r_5 \neq \min(r); \\ S2 \cap S5 &= (X2, X3) \end{aligned}$$

Пути $S4$ и $S5$ складываются из фрагментов $S1, S2$ и $S3$, которые объединяются цепью $(X3, X6)$. Обозначим путь из $X3$ в $X6$ как $S6$:

$$\begin{aligned} S1 \cap S6 &= S2 \cap S6 = \bigcup_{k=1}^{r_5} e_k, \quad r_5 = 1 = \min(r), \quad e_1 = X3; \quad S3 \cap S6 = X6; \\ S4 \cap S6 &= S5 \cap S6 = S6 = \bigcup_{k=1}^{r_6} e_k, \quad e_1 = X3, \quad e_2 = X6, \quad r_6 > 1 \rightarrow r_6 \neq \min(r). \end{aligned}$$

Компоновкой схемы на конструктивно законченные части называется процесс распределения элементов низшего конструктивного уровня в высший в соответствии с заданными критериями: числом конструктивно законченных блоков, на которые разбивается схема; числом соединений между ними и др. Алгоритмизация и решение задач компоновки производится путем перехода от элементов и схем их соединений к графам, мультиграфам или их матричным и списковым эквивалентам. Существующие на данный момент алгоритмы разбиения графов (последовательные, итерационные и др.) нельзя применить к рассматриваемой задаче, так как результатом их работы станет деление графа на части, не пересекающиеся по элементам, что противоречит исходным требованиям (2) к структурам Z .

Задача компоновки схемы Sh заключается в поиске структур, у которых число общих эле-

ментов минимально. У путей $S1$ и $S3, S2$ и $S3$ нет общих вершин. У путей $S1$ и $S2$ две общие вершины, но так как тип структур, отражаемых $S1$ и $S2$, совпадают, то, по условию, данный факт для дальнейшего рассмотрения не учитывается. $S1$ и $S6, S2$ и $S6, S3$ и $S6$ имеют по одной общей вершине $X3, X3$ и $X5$. Путь $S4$ (и аналогично $S5$) можно представить комбинацией цепей, входящих в состав $S1, S3$ и $S6$; число общих вершин у структуры $S4$ с $S1$ и $S3$ равно 2.

Таким образом, представленным выше требованиям удовлетворяют пути $S1, S2, S3$ и $S6$, являющиеся представлением структур $Z_1=«ИП1-РУ1-ИУ1»$, $Z_2=«ИП2-РУ1-ИУ1»$, $Z_3=«ИП3-РУ2-ИМ2»$, $Z_4=«РУ1-РУ2»$, причем Z_1, Z_2 и Z_3 – однотипные. В данном случае число Q типов структур равно 2, число общих элементов для каждой пары структур разного типа составляет 1, а именно регулятор РУ. На рис. 2 представлено соответствующее разбиение схемы Sh :

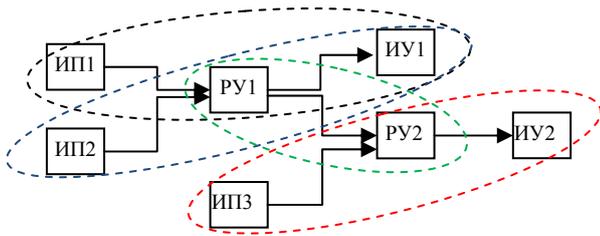


Рис. 2. Пример разбиения структурной схемы на составляющие

С учетом того, что в вариантах компоновки присутствует структура «ИП-РУ-ИУ», являющаяся одноконтурной схемой системы автоматизации, и на ее основе можно строить многоконтурные с использованием структуры «РУ1-РУ2», то их целесообразно выделить в качестве базовых Z^0 , на основе которых будут генерироваться функциональные схемы:

$$- Z^0_1 = \text{ИП-РУ-ИУ};$$

$$- Z^0_2 = \text{РУ1-РУ2}.$$

Для произвольной структурной схемы на основе выделенных базовых структур и множества элементов из базы данных ТСА можно сгенерировать все возможные варианты функциональных и принципиальных электрических схем. На основе перебора элементов ТСА можно построить множество вариантов технической реализации базовых структур – «шаблоны», – сочетания которых в дальнейшем будут использоваться для построения функциональных схем различной сложности. Основная проблема, с которой можно при этом столкнуться, – большой объем базы данных ТСА и, как следствие, длительный процесс генерации вариантов схем. Однако среди множества элементов ТСА существуют определенные закономерности, позволяющие при построении шаблонов избежать полного перебора элементов. К примеру, невозможно создать связь между нормирующими преобразователями измерительных сигналов и исполнительными устройствами. В общем случае, зная принадлежность элемента к конкретному типу цепи (к измерительной, исполнительной, корректирующей, интерфейсной), при проверке наличия функциональной связи с другими элементами можно исключить из области поиска некоторые их группы.

Алгоритм генерации множества функциональных схем на основе базовых структур

Для построения шаблонов предлагается использовать дерево схемотехнических решений

(ДСР) – граф, объединяющий все шаблоны функциональных схем, построенные на одной и той же модели регулятора [8]. Для наличия связи между двумя элементами, которым соответствуют вершины графа, необходимо [1], чтобы функции преобразования выхода одного элемента и входа второго совпадали, а также между ними соблюдались условия согласованности диапазонов используемых сигналов. Для построения ДСР необходимо выделить из базы данных ТСА определенный набор элементов, среди которых должны присутствовать блоки, назначенные каждому звену структурной схемы. В ТЗ на проектирование можно указать как конкретные типы таких блоков, так и классы ТСА, к которым они принадлежат. В этом случае количество построенных шаблонов увеличится, что приведет к большему разнообразию вариантов функциональных схем.

Корневым узлом *Root* дерева удобнее всего выбрать регулятор *Reg*, так как в этом случае каждая ветвь дерева представляет собой фрагмент измерительной, исполнительной, интерфейсной или корректирующей цепи *Zh*. Число деревьев определяется числом используемых регуляторов. При этом предполагается, что любая цепь может входить в несколько шаблонов νS . Обходя каждое дерево $ДСР_K$ из одной висячей вершины $B_ДСР$ в другую через корневой узел *Root*, можно легко обнаружить реализующий базовую структуру Z_i шаблон νS_i , проверяя принадлежность элементов двух висячих вершин к классу первичных преобразователей *IP* и исполнительных устройств *IM*. Если оба указанных элемента принадлежат к разным классам, причем один A_j – к первичным преобразователям, а второй A_m – к исполнительным устройствам, то такая схема является одним из вариантов шаблона νS_j и принимается к дальнейшему рассмотрению:

$$\forall \nu S_i \in \nu S : \exists A_j : A_j \in \nu S_i, A_j \in ДСР_K, A_j \in B_ДСР, A_j \in IP, \\ \exists Zh_1 = (A_j \dots Reg), Reg = Root(ДСР), \\ \exists A_m : A_m \in \nu S_i, A_m \in ДСР_K, A_m \in B_ДСР, A_m \in IM, \\ \exists Zh_2 = (Reg \dots A_m), Reg = Root(ДСР), \nu S_i = Z_1 \cap Z_2.$$

Направление связей, принадлежащих одной цепи, определяется классом висячей вершины ДСР. Истоками схем являются вершины, соответствующие классам измерительных преобразователей, а стоками – вершины, соответствующие классам исполнительных устройств.

Указанные деревья в компактном виде содержат информацию не только о законченных

вариантах схем шаблонов. В случае необходимости можно получить набор промежуточных элементов между любыми заданными, являющимися истоками и стоками цепи.

При составлении на основе шаблонов требуемой функциональной схемы с большим числом измерительных и исполнительных цепей, корректность каждого генерируемого варианта определяется только числом входов (выходов) регулятора схемы. Условия согласованности диапазонов и типов сигналов используемых элементов на данном этапе не проверяются.

Для построения многоконтурных систем необходима генерация связи между регуляторами. Существование данной связи проверяется при составлении шаблонов для реализации базовой структуры Z_2 второго типа.

Для каждого варианта функциональной схемы можно составить принципиальную электрическую, используя информацию о соответствии входу (выходу) элемента конкретного типа разъема и перечня контактов.

Верификация схемных альтернатив с учетом особенностей модели используемого контроллера

Так как при составлении из шаблонов конкретных вариантов функциональных схем проверяется только условие наличия свободного входа (выхода) регулятора для конкретного элемента, то в результате возможно появление вариантов схем, которые удовлетворяют техническому заданию в части количества и номенклатуры измерительных преобразователей и (или) исполнительных устройств, но внутренней функциональной связи между канала-

ми входов и выходов используемого в схеме регулятора может не быть. Следовательно, дополнительно нужно проверять условие идентичности канальности регулятора (по базе данных ТСА) и возможных вариантов канальности регулятора из полученного варианта схемы.

У большинства промышленных регуляторов функциональные связи входов и выходов являются коммутируемыми, то есть при настройке регулятора можно задать не только все его функции преобразования, но и программно определить соответствие i -го входа j -му выходу. Это означает, что указанное выше условие можно не проверять. Но на практике могут возникнуть более сложные случаи:

- не учитывается, что суммарное число присоединяемых к регулятору элементов одного класса не должно превышать заданное в спецификации регулятора значение;

- не учитывается необходимость резервирования всех каналов, в которых используется элемент. Указанный на рис. 3 вариант сгенерированной схемы является корректным согласно п. 1 (в полученном варианте не более двух термодпар U_{xk} и одного термометра сопротивления 5 Ом). Датчик на первом входе регулятора (термопара) задействован в каналах 1 и 2. Термометр сопротивления может занять только канал 1, который уже зарезервирован для термопары. Такой вариант схемы является некорректным. Следовательно, если элемент ТСА, непосредственно присоединяющийся к регулятору, удовлетворяет условиям п. 1, то необходимо зарезервировать все каналы, в которых он используется.

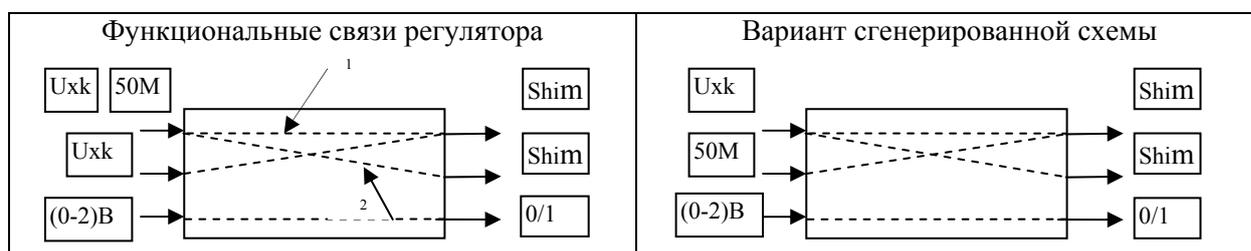


Рис. 3. Пример, отражающий резервирование каналов функциональных связей

Если элемент занимает один из уже зарезервированных каналов, то схема является некорректной;

- в процессе генерации могут получиться схемы с несуществующими функциональными связями измерительных и исполнительных це-

пей. Указанный на рис. 4 вариант схемы удовлетворяет условиям п. 1 и 2. Однако функция преобразования канала 2 регулятора ($U_{xk} \rightarrow 0/1$) в схеме не соответствует заданной ($U_{xk} \rightarrow \text{Shim}$).

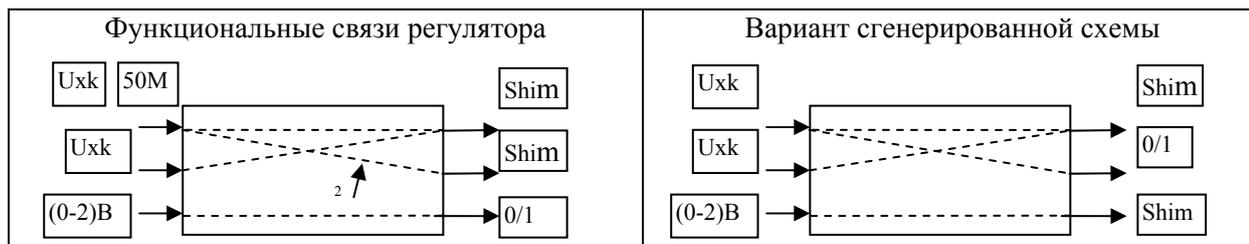


Рис. 4. Пример появления в результате генерации варианта схемы с несуществующими функциональными связями измерительных и исполнительных цепей

Таким образом, для каждого сгенерированного варианта схемы необходимо проверять возможность построения внутренних связей регулятора в соответствии с его заданной структурой.

Заключение

Предлагаемый алгоритм позволяет строить функциональные схемы систем автоматизации любой сложности на основе базовых (шаблонных) структур, избегая применения методик полного перебора элементов ТСА. При этом требования к технической реализации схем могут быть заданы как в полном объеме, так и содержать только самые необходимые для проектирования данные – вид структурной схемы и ее назначение. Использование шаблонов в процессе генерации позволяет разрабатывать универсальные процедуры синтеза конкретных схемотехнических решений систем автоматизации. Дальнейшее совершенствование методики синтеза функциональных схем систем автоматизации видится в разработке и применении шкал качественных и количественных оценок их альтернатив с целью выбора наиболее оптимального в заданных условиях варианта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ахремчик, О. Л.* Система проектирования функциональных и принципиальных схем автоматизации / О. Л. Ахремчик, Н. Н. Филатова, Н. И. Бодрина // Труды Международного конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT'09». – М.: Физматлит, 2009. – Т. 1. – С. 73–80.

2. *Ильин, В. Н.* Автоматизация схемотехнического проектирования / В. Н. Ильин, В. Т. Фролкин, А. И. Бутко. – М.: Радио и связь, 1987. – 368 с.

3. *Панфилов, А. Э.* Методика формального описания объектов технологического процесса для автоматизированной системы конструирования АСУТП / А. Э. Панфилов, В. А. Камаев // 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. 90–93.

4. Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью [Электронный ресурс]. – [2009]. – Режим доступа : <http://www.metodolog.ru/00562/00562.html>.

5. *Камаев, В. А.* Применение структурирования функции качества для изменения технических характеристик продукции на основе требований потребителей / В. А. Камаев, Ю. Ю. Андрейчиков // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 1 (27) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 1). – С. 59–64.

6. *Кудряшов, И. С.* AutomatiCS 2008: новые решения, новые возможности при проектировании КИПиА / И. С. Кудряшов, А. С. Угрюмов, Е. С. Целищев // CADmaster, 2008. – Вып. 1(41). – С. 76–80.

7. *Андрейчиков, А. В.* Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения) / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М.: Машиностроение, 1998. – 476 с.

8. *Филатова, Н. Н.* Автоматическая генерация деревьев схемотехнических решений / Н. Н. Филатова, А. Г. Требухин, О. Л. Ахремчик // Труды Международного конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT'11». – М.: Физматлит, 2011. – Т. 2. – С. 122–130.

УДК 681.3

*С. А. Фоменков, С. Г. Колесников, А. М. Дворянкин***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НОВЫХ НАНОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: saf@vstu.ru, sk@vstu.ru, dvam@vstu.ru

В статье представлено описание использования структурированных физических знаний для прогнозирования новых нанотехнических систем. Описаны основные компоненты программного комплекса, используемого для такого прогнозирования. Приведены примеры решения задач прогнозирования.

Ключевые слова: структурированные физические знания, программный комплекс, физический эффект, прогнозирование, нанотехнические системы.

*S. A. Fomenkov, S. G. Kolesnikov, A. M. Dvoriankin***USES OF THE STRUCTURED PHYSICAL KNOWLEDGE FOR FORECASTING
OF NEW NANOTECHNICAL SYSTEMS****Volgograd State Technical University**

In article the description of use of the structured physical knowledge for forecasting new nanotechnical systems is presented. The basic components of the program complex used for such forecasting are described. Examples of the decision of problems of forecasting are resulted.

Keywords: the structured physical knowledge, program complex, physical effect, forecasting, nanotechnical systems.

Нанотехнологии в настоящее время становятся реальностью, находят свое применение в медицине, экологии, энергетике, электронике, машиностроении, нефтяной промышленности и ряде других областей. Исследования в области наноматериалов и нанотехнологий имеют большую фундаментальную значимость для развития современной науки и техники.

Создание базы знаний в области нанотехнологий и наноматериалов на основе модели описания физических эффектов (ФЭ) [1] позволит систематизировать и эффективно использовать имеющуюся информацию указанной предметной области.

В ВолгГТУ в рамках работы по государственному контракту № 16.647.11.2025 от 12 сентября 2011 года «Создание базы физико-технических знаний и прогнозирование на ее основе появления новых нанотехнических систем» разработан программный комплекс автоматизированных систем, оперирующих структурированной физической информацией в форме ФЭ.

Реализованные в комплексе методы обработки информации дают возможность создавать не имеющие аналогов справочные системы, значительно повышающие объем активно используемых знаний по физике при выполнении различных научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ в области нанотехнологий и наноматериалов, а также решать

задачу прогнозирования новых нанотехнических систем.

Программный комплекс включает следующие компоненты:

а) база физико-технических знаний в форме ФЭ [1];

б) подсистема поиска физических эффектов (ФЭ) по запросам различного типа [2; 3];

в) подсистема синтеза физических принципов действия [4; 5];

г) подсистема пополнения базы знаний из электронных первичных источников информации [6; 7].

База данных ФЭ в качестве основного ядра содержит эффекты из так называемой глобальной базы, подробно описанной в [1; 8]. В режиме тестирования программного комплекса было найдено и описано около 60 новых ФЭ. Отметим, что большинство найденных ФЭ представляют особый интерес, поскольку описаны в статьях журналов физического профиля и в патентном массиве за последние годы. Кроме того, были найдены литературные источники, на основе которых была расширена информация существующих описаний около 40 ФЭ.

Для проверки возможности решения задач прогнозирования новых нанотехнических систем нами сформирован дополнительный (ограниченный) массив описаний ФЭ в области наносистем и разработаны соответствующие ме-

годические материалы по применению базы физико-технических знаний в этих целях.

Формирование вышеуказанного массива ФЭ производилось с использованием методики модификации базы данных ФЭ [1; 9; 10], предназначенной для адаптации информационного обеспечения к изменяющимся потребностям пользователей.

Наиболее трудоемкие процедуры методики модификации автоматизированы [6; 11] и поддерживаются подсистемой пополнения базы данных ФЭ из электронных первичных источников информации.

Разработанный программный комплекс передан для использования в Российский университет дружбы народов, который является участником национальной нанотехнологической сети. С целью информирования участников нанотехнологической сети о выполненной работе и обеспечения интеграции базы ФЭ с другими базами данных, созданными в рамках ФЦП «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008–2011 годы», программный комплекс передан также в ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика».

Решение задач прогнозирования появления новых нанотехнических систем может осуществляться с использованием подсистемы поиска физических эффектов по запросам различного типа или подсистемы синтеза физических принципов действия. Если определенная задача прогнозирования не может быть решена указанными выше средствами, то необходимо расширить информационное наполнение массива ФЭ в данной предметной области.

Ниже приведены два примера решения соответствующих задач прогнозирования.

Пример 1.

Запрос на естественном языке (техническая потребность)

Как улучшить прочностные и хладостойкие свойства сварных соединений?

Запрос к подсистеме поиска физических эффектов

Формализуем запрос с использованием дескрипторного языка: вход, объект, выход. В соответствии со структурой описания компонент входа (А), выхода (С), начального состояния объекта (В1), конечного состояния объекта (В2) [1] формализованный запрос имеет следующий вид (табл. 1).

Для формулировки запроса можно также использовать полнотекстовый поиск по выходным картам физических эффектов: повышение хладостойкости сварных соединений.

Таблица 1

Формализованный запрос

А	В1	В2	С
–	–	–	Параметрический. Механика. Ударная вязкость (Дж/м ²). Увеличение.

Ответ на запрос

По формализованному запросу А, В1, В2, С найдены следующие физические эффекты (табл. 2).

Таблица 2

Найденные физические эффекты

Номер	Название
835	Явление размерного эффекта ударной вязкости полимеров
1064	Повышение хладостойкости сварных соединений

По полнотекстовому запросу найден эффект № 1064.

Прогноз

Из найденных эффектов к сварным соединениям относится только эффект № 1064. Анализ этого эффекта дает следующий прогноз: эффективным способом существенного повышения прочностных и хладостойких свойств сварных соединений является добавление в них микрогранул композиционных порошков металла (например, никеля), содержащих наноразмерные частицы.

Примеры, реализующие данный подход, приведены в описании ФЭ № 1064; там же дана литература, позволяющая более детально изучить данный прогноз.

Пример 2.

Запрос на естественном языке (техническая потребность)

Как улучшить рабочие характеристики катодолюминесцентных источников света?

Запрос к подсистеме синтеза физических принципов действия

Люминесцентные источники света работают на принципе возбуждения люминофоров электронным пучком. В соответствии с этим задание на синтез физического принципа действия [1] будет иметь следующий вид:

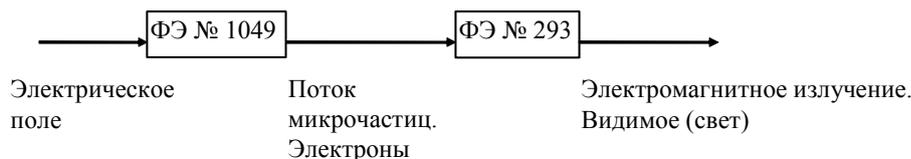
вход: электрическое поле;

выход: электромагнитное излучение. Видимое (свет);

ограничения: длина цепочки ≤ 2, обязательно использование ФЭ № 293.

Ответ на запрос

Из синтезированных цепочек отобран вариант, схематически изображенный на рисунке.



Вариант цепочки ФЭ, синтезированный по заданию к системе синтеза физических принципов действия: ФЭ № 1049 – «Автоэлектронная (полевая) эмиссия углеродных нанотрубок»; ФЭ № 293 – «Катодоллюминесценция»

В стандартных люминесцентных источниках света обычно используются термоионные катоды, обладающие высокими эмиссионными характеристиками. Однако требование к разогреву катода до нескольких сотен градусов Цельсия усложняет конструкцию источника и приводит к повышенному расходу энергии. Указанные недостатки преодолеваются в результате использования холодных полевых катодов на основе углеродных нанотрубок.

Прогноз

Использование эмиссионных свойств углеродных нанотрубок позволит создать холодные полевые эмиттеры, превосходящие по своим характеристикам другие типы полевых эмиссионных катодов. Это дает возможность создавать более эффективные катодоллюминесцентные источники света (пониженное энергопотребление, простота включения и выключения, отсутствие экологически опасных паров газов и др.). Анализ и литература для более детального изучения данного прогноза приведены в описании ФЭ № 1049.

Нами составлено еще 11 аналогичных примеров использования системы поиска ФЭ и системы синтеза физических принципов действия для прогнозирования появления новых нанотехнических систем. Отметим, что для эффективного выполнения данной задачи требуется существенно расширить массив описаний ФЭ в области наносистем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фоменков, С. А.* Моделирование и автоматизированное использование структурированных физических знаний / С. А. Фоменков, Д. А. Давыдов, В. А. Камаев ; ВолгГТУ. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 297 с.
2. *Фоменков, С. А.* Автоматизированный информационный поиск физических эффектов / С. А. Фоменков, Д. А. Давыдов, С. Г. Колесников // Информационные технологии. – 2004. – № 7. – С. 30–34.
3. *Герасимов, А. М.* Автоматизированная система поиска физических эффектов «Полезный эффект» / А. М. Герасимов, П. А. Колчин, С. А. Фоменков // Программные продукты и системы : прил. к междунар. журн. «Проблемы теории и практики управления». – 2007. – № 4. – С. 38–39.
4. *Давыдов, Д. А.* Автоматизированное проектирование линейных структур физических принципов действия технических систем / Д. А. Давыдов, С. А. Фоменков // Машиностроитель. – 2002. – № 2. – С. 33–35.
5. *Гопта, Е. А.* Автоматизация процесса линейного синтеза физического принципа действия / Е. А. Гопта, С. А. Фоменков, Г. А. Карачунова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (71) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 129–133.
6. *Коробкин, Д. М.* Автоматизация процесса формирования информационного обеспечения базы данных физических эффектов / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – № 3. – С. 22–25.
7. *Коробкин, Д. М.* Программный комплекс поддержки процесса формирования информационного обеспечения фонда физических эффектов / Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – СПб: СПбГПУ. – 2009. – № 6. – С. 306–310.
8. *Фоменков, С. А.* Информационное наполнение баз данных по физическим эффектам / С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // Информационные технологии. – 2004. – № 6. – С. 60–62.
9. *Фоменков, С. А.* Методика корректировки базы данных по физическим эффектам при включении в них новых объектно-ориентированных фондов / С. А. Фоменков, С. Г. Колесников, Д. А. Давыдов // Машиностроитель. – 2004. – № 5. – С. 35–36.
10. *Фоменков, С. А.* Методика модификации фонда физических эффектов / С. А. Фоменков, С. Г. Колесников // Техника машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 65–69.
11. *Фоменков, С. А.* Автоматизация процедур формирования информационного обеспечения для систем концептуального проектирования, использующих структурированные физические знания в форме физических эффектов / С. А. Фоменков, А. В. Петрухин, С. Г. Колесников // Качество и ИПИ (CALS) – технологии. – 2005. – № 1. – С. 26–29.

УДК 004.82

*Е. А. Шапочкин, Л. Н. Бутенко***ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СУБЪЕКТОМ ЗНАНИЙ
В ПРОЦЕССЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: John_shap@mail.ru, butenko@vstu.ru

В статье представлено исследование процедуры интерпретации субъектом знаний. За счет применения метода концептуального анализа для переноса и интеграции знаний из различных предметных областей синтезировано авторское определение интерпретации. На его основе выделены морфологический и функциональный составы, реализующие интерпретацию субъектом знаний. Приводится графическое описание взаимодействия выделенной морфологии и функционала.

Ключевые слова: модели представления знаний, интерпретация, субъект, образ, полагания.

*Е. А. Shapochkin, L. N. Butenko***RESEARCH OF THE PROCEDURE OF KNOWLEDGE INTERPRETATION BY
THE SUBJECT DURING THE MODELLING PROCESS**

Volgograd state technical university

The research of the procedure of knowledge interpretation by the subject is described in the paper. The authors' definition of the interpretation was created as a result of the application of a conceptual analysis method of transfer and integration of knowledge from different domains. On this basis the morphologic and functional compositions of interpretation were defined. Graphical specification of the defined morphologic and functional compositions interactions is stated.

Keywords: knowledge representation models, interpretation, subject, notion, supposes.

В связи с объективными требованиями, диктуемыми развитием техники и технологии, на сегодняшний день знания из все большего количества предметных областей (ПО) моделируются с помощью моделей представления знаний (МПЗ). Несмотря на то, что большое количество существующих МПЗ реализуют различные принципы отображения знаний [1], они выступают лишь как средство для автоматизации действий субъекта по хранению, обработке и, в отдельных случаях, дедуктивному выводу знаний. Интерпретация знаний субъектом на данный момент остается неавтоматизируемой с помощью МПЗ процедурой. Исследование процедуры интерпретации знаний субъектом является актуальным, поскольку его результаты позволят установить какие именно процессы, входящие в состав интерпретации, не поддаются автоматизации с помощью существующих МПЗ и, как следствие, выявить направления повышения эффективности использования МПЗ при обработке знаний.

Целью данной работы является исследование процедуры интерпретации знаний субъектом в процессе моделирования. Для достижения поставленной цели была сформулирована задача исследования процедуры интерпретации с помощью метода концептуального анализа [2], позволяющего переносить и интегрировать знания из различных предметных областей.

Метод подразумевает следующую последовательность действий: сбор определений рассматриваемого объекта из различных предметных областей; формирование экстенционалов объекта; формирование интенционала объекта; синтез формального морфологического и функционального описания; синтез графического описания с установлением взаимосвязей между выделенными морфологическим и функциональным описаниями объекта.

Для выбора исходных определений рассмотрим такие предметные области как методологию науки, философию науки, системный подход, связи с общественностью, философию, психодинамическую терапию, музыку, переводы, теорию познания. Из соображений экономии места приведем исходные определения в форме, сжатой по сравнению с их источником. *Интерпретация* – это: 1) совокупность значений (смыслов), придаваемых какой-либо теории или ее элементам [3]; 2) истолкование, разъяснение смысла чего-либо [4], приписывающее ему значения [7]; 3) творческое переосмысление и раскрытие чего-либо [4]; 4) отношение, отображающее формулы одной системы на формулы другой [5]; 5) анализ программного кода и немедленное его выполнение [4]; 6) иное объяснение, раскрытие смысла чего-либо другим языком [6]; 8) целенаправленный процесс коммуникации, создающий эмоциональную и

интеллектуальную связь между аудиторией и значением, присущим ресурсу [8]; 9) процедура, придающая чему-либо новое значение, расширяющее и углубляющее старое. Также это функция перевода явного содержания сновидения в скрытое для снятия психологического конфликта [9]; 10) установление, и его результат, содержания понятий аппликацией их на предметную область [10]; 11) художественное раскрытие музыкального произведения в процессе исполнения, зависящее от его замысла и индивидуальных особенностей исполнителя [11]; 12) «перевод» специальных выражений на «общежитейский» язык, а также рекомендации по применению полученных знаний [4]; 13) индивидуальная трактовка исполнителем исполняемого произведения [4]; 14) этап психоанализа, выполняемый после обнаружения проблем и до их проработки [4]; 15) избирательное прочтение произведения; 16) истолкование смысла произведения в контексте культурно-исторической ситуации его прочтения, основанное на принципиальной многозначности художественного образа [12]; 17) один из возможных смыслов [13]; 18) синхронный перевод [14].

Из соображений экономии места сожмем экстенционалы до их функциональной сущности. Интерпретация: позволяет субъекту выявить или получить («прочитать»), либо задать («записать») значения (либо функции отношений) для чего-либо, а также сам процесс «чтения» или «записи»; нечто, в чем проявляются и чем задаются особенности восприятия смыслов субъектом после осуществления синхронизации (установки «связи» субъекта с объектом, в результате которой субъект получает возможность адекватно (в рамках задачи) воспринимать объект); позволяет порождать и изменять знания на основе имеющихся; позволяет приводить знания к форме, в которой они выражены более отчетливо, выделяя одно из многого; позволяет осуществлять направленное взаимодействие субъекта с объектом, содержащее эмоциональный и рациональный аспекты; это операция, не допускающая параллельной обработки; нечто, за счет чего проявляются изменения восприятия окружающего мира субъектом после получения им новых знаний; как результат, так и набор процедур, характерный для конкретного субъекта и задаваемый его полаганиями (полагания – индивидуальные когнитивные особенности субъекта, специфика воспринятых им знаний, а также особенности его целей и ожиданий от моделирования [15]. Для

удобства описания феномена интерпретации мы принимаем, что конкретные наполнения полаганий (содержимое проекции полаганий на категориальную сетку аппарата полаганий [15]) могут быть как у субъекта, так и у объекта – рассматриваемые как изменения, которые претерпевают полагания субъекта при моделировании объекта), по установлению связи между уже известными ему и новыми объектами.

На основе экстенционалов, синтезируем интенционал интерпретации.

Интерпретация – поэлементное моделирование объекта (закрывающееся в описании (в случае если требуется глубокая и длительная интерпретация, достаточно качественная для «придания» смысла объекту), либо в установке связей (в случае если важна не глубина получаемых знаний, а скорость их получения) между имеющимися знаниями (рассматриваемыми непосредственно как объекты, а также как способы их взаимодействия) и знаниями, содержащимися в образе [16] моделируемого объекта, либо лишь между имеющимися знаниями (рассматривая одно из них как объект), в случае чего можно говорить о переосмыслении), осуществляемое как в режиме «чтения» (анализа, в ходе которого субъект пытается по возможности максимально выявить суть объекта, и работает, преимущественно, с полаганиями, полученными им об объекте), так и в режиме «записи» (синтеза, в ходе которого субъект пытается максимально не нарушая полаганий, полученных им об объекте, дополнить их наполнениями своих полаганий), равно как и результат этого моделирования, приводящее к выбору подмножества из множества потенциально допустимых описаний объекта (закрывающемуся в приписывании субъектом подмножеству наибольшей, по сравнению с другими, оценки правдоподобия и адекватности), осуществляемое для получения новых знаний и использующее для целей моделирования как уже имеющиеся полагания субъекта, так и полагания об объекте, получаемые субъектом в процессе синхронизации с объектом, зависящее от рациональных и эмоциональных особенностей восприятия объекта субъектом на этапе синхронизации.

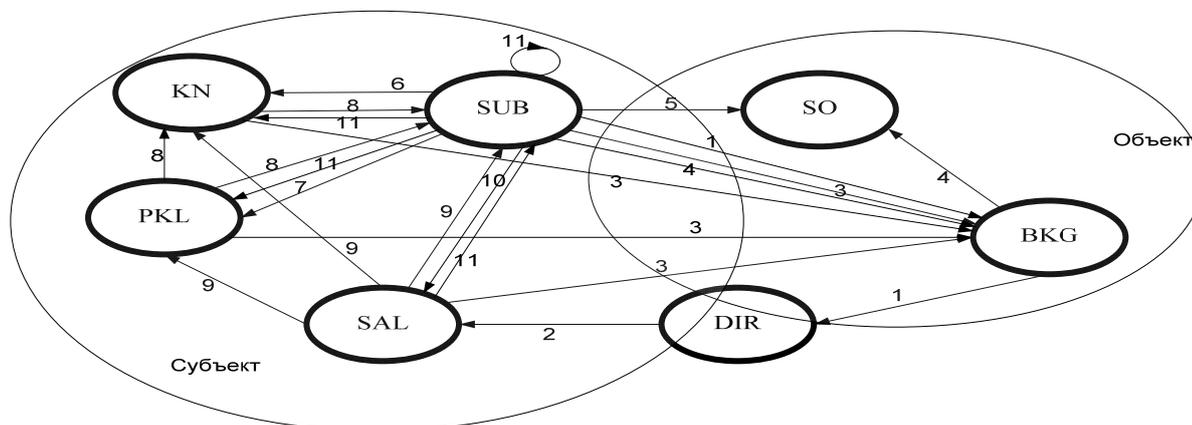
Морфологический состав интерпретации можно представить следующей формальной записью: $M = \langle BKG, SO, DIR, SAL, SUB, KN, PKL \rangle$, где **BKG** – background – фон, потенциально содержащий фигуру; **SO** – supposes of the object – полагания объекта, соответствующие его образу [16] и моделируемые с помощью аппарата

полаганий [15]; **DIR** – domain interpretation requirements – специфика предметной области, а также задача интерпретации; **SAL** – subject’s standpoint of adequacy and likelihood – представление субъекта об адекватном и правдоподобном; **SUB** – subject’s supposes – полагания субъекта, выраженные с помощью аппарата полаганий; **KN** – subject’s knowledge – знания, которыми обладает субъект; **PKL** – procedures of knowledge linkage – способы установления связей между знаниями.

Функциональный состав интерпретации можно представить следующей формальной записью: $F = \langle \text{UH, NAL, FR, DOS, ACQ, ACK, AKP, RE, ALC, AM, CN} \rangle$, где **UH** – object usage hypothesis creation – построение гипотезы о сфере применимости объекта; **NAL** – creation of notion about what is adequate and likelihood – формирование представления субъекта об адекватном и правдоподобном в рамках ПО и задачи интерпретации; **FR** – figure revealing – выделение фигуры из фона, на основе знаний субъекта, способов их получений, полаганий субъекта, его представлений об адекватном; **DOS** – detection of object’s supposes – выделение полаганий объекта – установление образа [16] фигуры объекта; **ACQ** – acquiring – восприятие субъектом полаганий объекта в процессе синхронизации, формирование на их основе представления субъекта об объекте, а также изменение полаганий субъекта в ходе син-

хронизации с полаганиями объекта; **ACK** – attempt to correlate knowledge – попытка установить связь, на основании полаганий субъекта, между объектом и имеющимися у субъекта знаниями; **AKP** – attempt to correlate procedures – попытка установить связь, на основании полаганий субъекта, между объектом и имеющимися у субъекта способами установления связей между знаниями; **RE** – reflection – рефлексия, установление связей между знаниями, приводящее к изменению, на основе результатов рефлексии, полаганий субъекта. Приписывание смыслов для объекта на основе произошедших изменений в полаганиях субъекта; **ALC** – adequacy and likelihood check – проверка адекватности и правдоподобия приписанных смыслов, установленных связей между объектом и знаниями, или объектом и способами установки связей между знаниями, выбор среди них наиболее адекватных и правдоподобных; **AM** – adequacy modification – переосмысление представлений субъекта об адекватном и правдоподобном, на основе изменений его полаганий; **CN** – conclusion – окончательное формирование представления субъекта об объекте.

Очередность приведенного в формальной записи функционала интерпретации соответствует очередности активации процессов, задействованных при интерпретации. Проиллюстрируем графически полученное описание.



Гиперграф [17], иллюстрирующий интерпретацию субъектом знаний. Цифрами отображены: 1 – UH; 2 – NAL; 3 – FR; 4 – DOS; 5 – ACQ; 6 – ACK; 7 – AKP; 8 – RE; 9 – ALC; 10 – AM; 11 – CN

Отметим, что приведенный синтез интенционала интерпретации можно рассматривать как пример осуществления интерпретации. Выбор предметных областей и их определений соответствует этапу **UH**. На их основе были осуществлены действия **NAL**. Выделение содержательной части в исходных определениях позволило осуществить этап **FR**. В синтезе экстен-

сионалов нашел отражение этап **DOS**. При работе с экстенционалами были проведены **ACQ**, **ACK**, **AKP**, позволившие составить первоначальное представление об объекте. На стадии **RE** в сформированном представлении были выделены конкретные взаимосвязи составляющих. Они были проверены на стадии **ALC**, на предмет выявления ошибок и поверхностности ис-

следования. На стадии **AM** была переосмыслена и откорректирована форма представления полученных результатов в рамках формата статьи. На стадии **CN** произошло окончательное утверждение сформированного представления интерпретации.

Исходя из полученного описания и функционала существующих МПЗ (на основании функционала базовых, к которым сводится функционал остальных МПЗ [18]), можно отметить, что существующие МПЗ не позволяют при моделировании отразить этапы **UH, NAL, FR, AM, CN**. Этап **DOS** вырожден до пределов, задаваемых принципом используемой МПЗ – субъект может получить лишь те знания об объекте, которые ему «доступны» благодаря функционально реализуемому в МПЗ подмножестве полаганий. Этапы **ACQ, ACK** оказываются вырожденными в том плане, что субъекту «разрешено» устанавливать связи лишь в рамках представленного в МПЗ подмножества полаганий. За счет вырождения этапа **DOS** до проекции на подмножество полаганий, обусловленное используемой МПЗ, также вырожденным, вплоть до подмножества полаганий, оказывается и этап **RE**. На этапе **ALC** выбор отсутствует, так как множество результатов получается единичным, в силу однозначности способов обработки знаний в существующих МПЗ. Устранение выявленных недостатков целесообразно рассматривать как способ повышения степени автоматизации обработки знаний субъектом с помощью МПЗ, результаты которой будут наиболее значимыми для задач синтеза новых знаний.

В рамках данной работы был осуществлен анализ процедуры интерпретации, осуществляемой субъектом в процессе моделирования. За счет применения метода концептуального анализа, позволяющего переносить и интегрировать знания из различных предметных областей, удалось синтезировать экстенционалы, а на их основе – и интенционал феномена интерпретации, возникающей в процессе моделирования. На основании интенционала (который может быть использован как определение интерпретации в рамках учебного процесса) были выявлены формальные морфологический и функциональный составы, которые затем были объединены в графическом описании, феномена интерпретации.

Выявленные в рамках работы недостатки существующих МПЗ в контексте автоматизации функций интерпретации являются направлениями повышения функционала МПЗ. Рассмотрение выявленных недостатков в качестве

требований по их устранению представляется перспективным для задач повышения эффективности синтеза новых знаний субъектом при моделировании с использованием МПЗ, за счет повышения степени автоматизации когнитивных процессов субъекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шапочкин, Е. А. Detection of requirements for models of knowledge representation for the domain of occasionalisms translation / Е. А. Шапочкин, Л. Н. Бутенко // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 4. – С. 163–164. – Англ.
2. Теслинов, А. Т. Концептуальное проектирование сложных решений / А. Т. Теслинов. – СПб.: ПИТЕР, 2009. – 282 с.
3. Интерпретация в методологии [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : [http://ru.wikipedia.org/wiki/Интерпретация_\(методология\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Интерпретация_(методология))
4. Интерпретация [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : <http://ru.wiktionary.org/wiki/интерпретация>
5. Глоссарий системного подхода [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : <http://kinsmark.com/index.php/syspod>
6. Глоссарий по связям с общественностью [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа : <http://www.evartist.narod.ru/text15/122.htm>
7. Краткий словарь философских терминов [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа : http://www.philsci.univ.kiev.ua/biblio/FIL_XX/kk.html
8. Глоссарий туризма [Электронный ресурс]. – [2011]. – Режим доступа : <http://www.lumarx.com/Glossary.html>
9. Эволюция понятий и концепций психодинамической терапии [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа : http://www.psycharticles.ru/view_post.php?id=580
10. Словарь терминов философии науки [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : <http://www.kgau.ru/kultura/filosofiya%20nauki/slovar%20terminov%20FN.htm>
11. Словарь музыкальных терминов [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : <http://www.novmuz.net/index.php?name=Slovar>
12. Большой энциклопедический словарь [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа : <http://www.slovopedia.com/2/200/228302.html>
13. Определение интерпретации [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа : <http://www.slovoborg.ru/definition/интерпретация>
14. Language interpretation [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : http://en.wikipedia.org/wiki/Language_interpretation
15. Шапочкин, Е. А. Фиксация контекста моделируемого объекта и познавательно-целевых особенностей моделирующего субъекта с помощью аппарата полаганий / Е. А. Шапочкин, Л. Н. Бутенко // Молодежь и наука: модернизация и инновационное развитие страны: материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 15–16 сент. 2011 г.) / ПГУ. – Пенза, 2011. – Ч. 3. – С. 285–287.
16. Шапочкин, Е. А. Концептуальный анализ процесса формирования моделей представления знаний / Е. А. Шапочкин, Л. Н. Бутенко // Педагогический журнал Башкортостана. – 2010. – № 6. – С. 84–92.
17. Гиперграф. Википедия [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : <http://ru.wikipedia.org/wiki/Гиперграф>
18. Шапочкин, Е. А. Построение поисковой классификации моделей представления знаний / Е. А. Шапочкин, Л. Н. Бутенко // Известия Волгоградского государственного технического университета межвуз. сб. науч. ст. № 6(54) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в техн. системах. Вып. 6). – С. 79–82.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 621.02:658.3.012.2

Р. А. А. Аль-Шаеби

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛИЗИРОВАННЫХ УЧЕБНЫХ ПЛАНОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: agk@gde.ru

В статье рассматриваются разработанная автором методика автоматизированного управления процессом формирования индивидуализированных учебных планов на основе кредитно-модульной структуры обучения и компетентностного подхода.

Ключевые слова: кредитно-модульная система, зачетные единицы, индивидуальная траектория подготовки.

R. A. A. Al-Shaebi

METHOD OF INDIVIDUALIZED CURRICULUM FORMATION PROCESS COMPUTERIZED CONTROL

Volgograd State Technical University

The author's method of computerized control of the individualized curriculum formation process based on credit – the modular structure of learning and competence-based approach is considered in the paper.

Keywords: credit-modular system, credits, individual training trajectory.

Введение

Кредитно-модульная структура образования – это модель организации учебного процесса, основывающаяся на единстве модульных технологий обучения и зачетных кредитов ECTS (European Credit Transfer System – Европейская система взаимозачетов кредитов) как единиц измерения учебной нагрузки студента [1].

Кредитно-модульную систему (КМС) называют также нелинейной организацией учебного процесса. Нелинейная система обучения – способ организации учебного процесса, при котором обучающиеся имеют возможность индивидуально планировать последовательность образовательного процесса.

Таким образом, введение зачетных единиц и модулей учебных дисциплин позволяет студентам учиться по индивидуальным планам, самостоятельно выстраивая свою образовательную траекторию, позволяет студентам проходить часть своего обучения в вузах других стран. И несомненно, моделирование индивидуальной траектории образования является не-

отъемлемой и важной частью учебного процесса. Формирование в 2010 году новых учебных планов на основе ФГОС третьего поколения делает задачу автоматизации моделирования индивидуальной траектории подготовки особенно актуальной.

Анализ российского опыта внедрения КМС и автоматизированных систем построения учебных планов

В ходе исследования был проанализирован российский опыт применения системы зачетных единиц. Были рассмотрены различные варианты внедрения данной системы в вузах, таких как Академия народного хозяйства при Правительстве Российской Федерации; Челябинский государственный университет; РУДН; СПбГУ и других.

На основании проведенного анализа были выявлены следующие особенности организации учебного процесса при КМС:

– соотношение аудиторной и самостоятельной работы студента;

– соотношение обязательных дисциплин и дисциплин по выбору;

– организация контроля знаний и системы оценивания.

Дальнейшим этапом исследования стало изучение автоматизированных систем построения учебных планов, представленных на российском рынке. В ходе исследования были сформулированы следующие критерии:

1) автоматическая проверка разработанного учебного плана на соответствие государственным стандартам;

2) определение трудоемкости дисциплин учебного плана;

3) возможность конвертирования трудоем-

кости учебного плана в зачетные единицы;

4) возможность дальнейшего использования базы учебных планов в автоматизации процесса управления вузом;

5) используемая в системе технология;

6) разграничение прав и доступа пользователей к разработанной системе;

7) обеспечение студенту возможности самостоятельного составления своего индивидуального учебного плана;

8) обеспечение поддержки принятия решения студентом при формировании своего индивидуального учебного плана

Результаты сравнительного анализа таких систем представлены в таблице.

Сравнительный анализ систем автоматизации учебного процесса в российских вузах

Система	1	2	3	4	5	6	7	8
Автоматизация процесса составления учебных планов вузов (г. Москва)	+	–	–	–	Локальная	–	–	–
Система автоматизации разработки учебных планов (САРУП) «Куратор» (г. Петрозаводск)	–	+	–	–	Локальная	–	+	–
ИС «Планы ВПО»	+	+	–	+	Клиент–сервер	+	–	–
АИС «Электронный деканат» (г. Москва)	–	+	–	+	Клиент–сервер	+	–	–
Информационная система для российских вузов – «Университет» компании РЕДИАБ	–	+	+	+	SAP R/3 (клиент–сервер)	+	+	–
АИС УНИВЕРСИТЕТ (г. Ставрополь)	+	+	–	+	Клиент–сервер	+	–	–

Как видно из таблицы, ни одна из представленных систем не обладает всем спектром перечисленных свойств и функций. Таким образом, актуальной становится задача создания такой автоматизированной системы моделирования кредитно-модульной структуры индивидуальной траектории обучения студента, которая осуществляла бы все указанные выше операции.

Методика автоматизированного управления формированием индивидуальных учебных планов

Для реализации нелинейной системы образования необходимо использовать три формы учебного плана по каждому направлению (специальности):

базовые (стабильные) учебные планы – общие по направлению (специальности), служат для определения содержания и трудоемкости учебной работы каждого студента;

индивидуальные учебные планы (различные для каждого студента) – определяют образовательную траекторию учащихся;

рабочие планы – для формирования ежегодного графика учебного процесса и расчета трудоемкости учебной работы преподавателей.

В общем виде алгоритм методики автоматизированного управления формированием индивидуальных учебных планов при системе зачетных единиц (СЗЕ) представлен на рис. 1.

Алгоритмы блоков 1 и 2 (рис. 2, 3) используют модели объектов предметной области. Также были разработаны правила и ограничения на составление базовых и индивидуальных учебных планов, с целью учесть требования государственных стандартов.

Базовый учебный план на i -й семестр, на основе которого формируется индивидуальный, включает в себя все дисциплины, которые студент может изучить в i -м семестре, т. е. трудоемкость базового учебного плана и методику его составления можно выразить следующим образом:

$$W_{\text{base}_i} = \sum_j W_j + \sum_k W_k + \sum_p W_p \geq cr_{\text{min}_i}, \quad (1)$$

где 1) начало преподавания j -й дисциплины (s_j) относится к i -у семестру, а сама j -я дисциплина относится к группе дисциплин D_j , изучаемых обязательно и строго последовательно во времени; множество дисциплин, изученных студентом ранее, содержит множество inr_j , указывающее, какие дисциплины должен изучить студент до j -й;

2) начало преподавания k -й дисциплины (s_k) относится к семестру, номер которого $\leq i$; сама k -я дисциплина относится к группе дисциплин D_k , изучаемых обязательно, но, возможно, не последовательно во времени;

3) начало преподавания p -й дисциплины (s_p) относится к семестру, номер которого $\leq i$; сама p -я дисциплина относится к группе дисциплин D_p , изучаемых студентом по собственному выбору; p -я дисциплина изучалась студентом в n семестрах, где $n < ss_p$ (количество семестров, в которых уже изучалась студентом p -я дисциплина меньше количества семестров, которое изучается p -я дисциплина до полного ее освоения); $ss_p \leq (12-i)+1$ количество семест-

ров, которое изучается p -я дисциплина до полного ее освоения меньше либо равно сроку оставшегося обучения студента;

4) каждый раз при формировании базового учебного плана должен просматриваться список дисциплин D_k , если у k -й дисциплины срок ее освоения ss_k или срок ее оставшегося освоения (если студент изучает дисциплину уже n семестров, то срок оставшегося ее освоения равен $(ss_k - n)$) равен сроку оставшегося обучения студента (т. е. равен $(12-i)+1$), то дисциплина включается в базовый план как обязательная и изучаемая строго последовательно во времени, D_j ;

5) каждый раз при формировании учебного плана должен просматриваться список дисциплин, у которых D_p и студент уже начал их изучать в прошлых семестрах (изучал уже n семестров), если у p -й дисциплины срок ее оставшегося освоения $(ss_p - n)$ равен сроку оставшегося обучения студента (т. е. равен $(12-i)+1$), то дисциплина включается в базовый план как обязательная и изучаемая строго последовательно во времени, D_j .

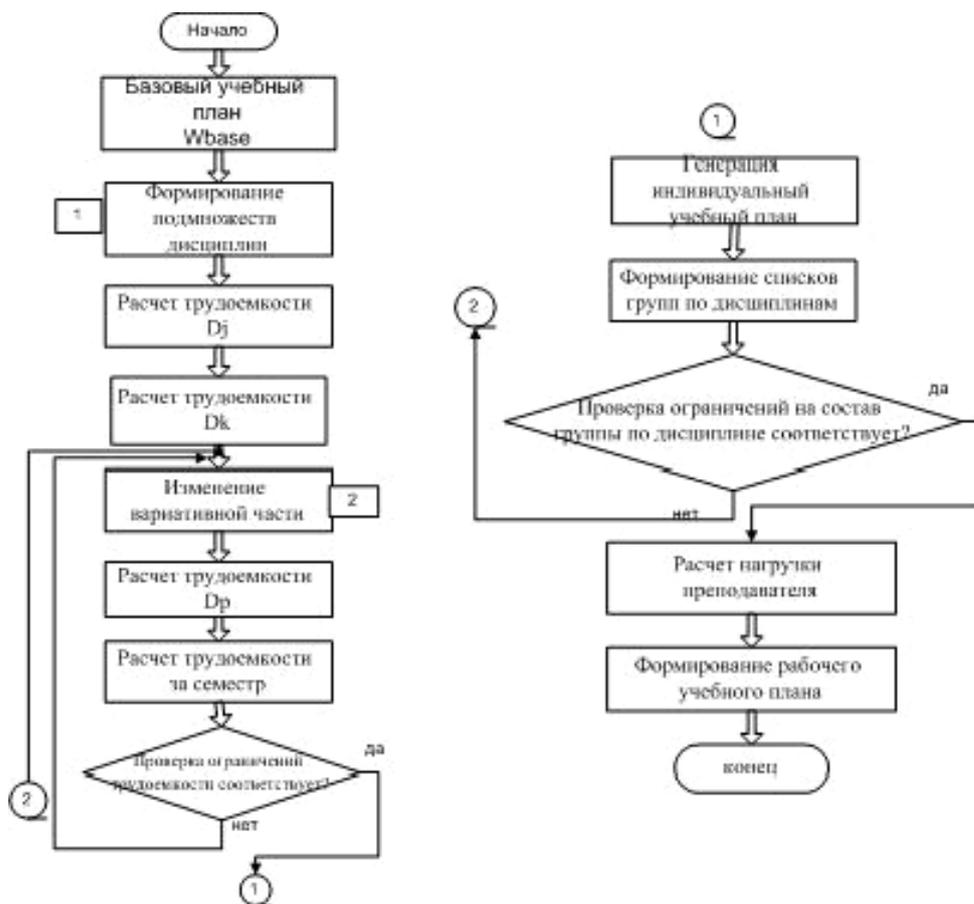


Рис. 1. Методика автоматизированного управления процессом формирования индивидуальных учебных планов при СЗЕ:

D_j – обязательные последовательно изучаемые дисциплины; D_k – обязательные дисциплины; D_p – дисциплины по выбору

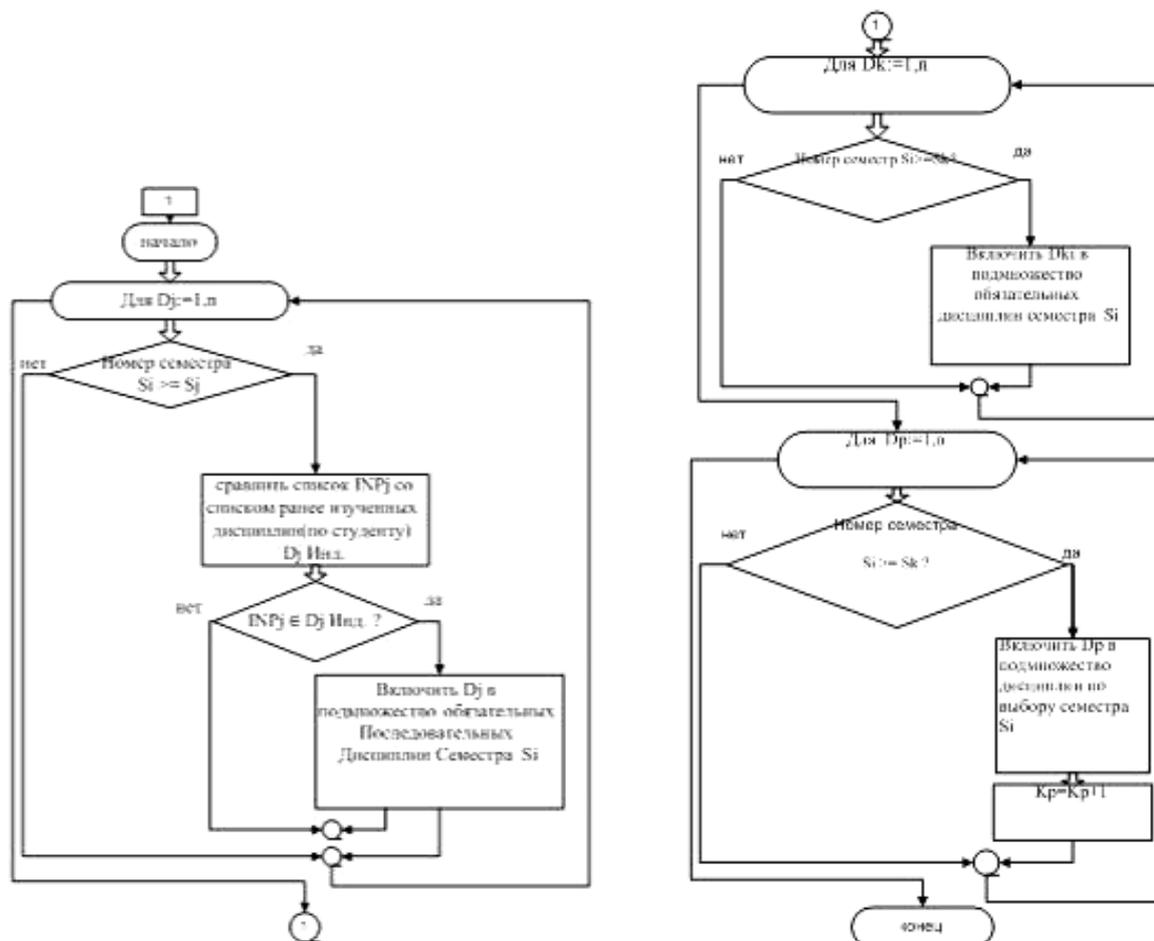


Рис. 2. Формирование подмножеств дисциплин

На основе базового учебного плана на i -й семестр студент формирует свой индивидуальный учебный план, при этом учитывается минимально необходимое (cr_min_i) и максимально возможное (cr_max_i) число кредитов, которое студент может набрать за i -й семестр. Таким образом, получаем следующее ограничение на формирование индивидуального учебного плана:

$$cr_min_i \leq W_{plan_i} \leq cr_max_i$$

$$\text{или } cr_min_i \leq \sum_j W_j + \sum_k W_k + \sum_p W_p \leq cr_max_i, \quad (2)$$

где W_j , W_k , W_p – это трудоемкости той части соответствующих дисциплин базового плана, которые включены в индивидуальный план, т. е. j -е дисциплины в базовом и индивидуальном учебном плане совпадают, k -е и p -е дисциплины в индивидуальном учебном плане представляют подмножество (часть) k -х и p -х дисциплин базового учебного плана.

Для автоматизации процесса формирования учебных планов при КМС были построены

обобщенные модели семестра, дисциплины, учебного плана, преподавателей, системы поддержки принятия решений при формировании индивидуального учебного плана и алгоритм ее функционирования.

Студент или абитуриент, впервые столкнувшийся с задачей формирования своей индивидуальной траектории образования, не всегда может быстро сориентироваться, какой набор дисциплин ему следует включить в свой индивидуальный план для достижения своих профессиональных целей. Помочь ему в решении данной проблемы может тьютор (консультант по составлению индивидуального учебного плана) или система поддержки принятия решения, включенная в общую систему как модуль (студент может воспользоваться обоими способами помощи) (рис. 3).

Систему поддержки принятия решения для студентов при моделировании индивидуальной траектории образования можно представить в виде набора вопросов для студентов об их профессиональных навыках и предпочтениях и на-

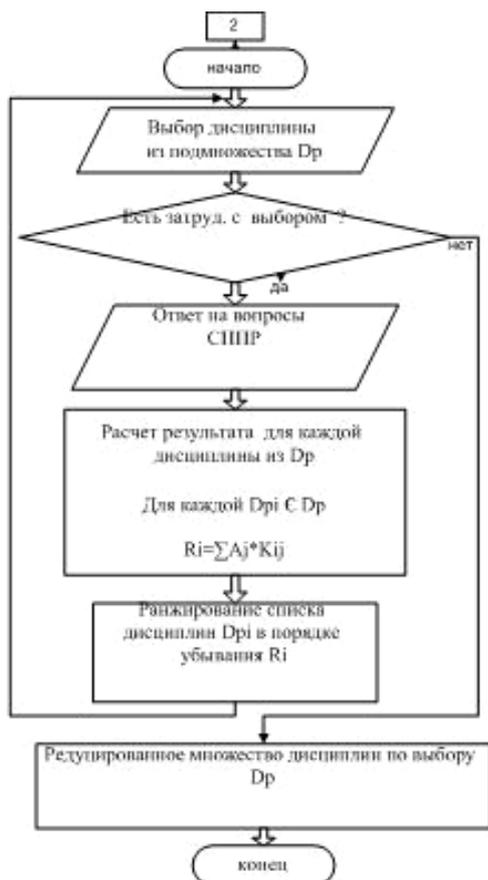


Рис. 3. Изменение вариативной части учебного плана

бора коэффициентов, указывающих влияние ответа на вопрос на включение дисциплины в индивидуальный учебный план. Таким образом, система принятия решения описывается в виде следующего множества:

$$Q = \{i, D_p, K \mid 0 \leq k \leq 10\}, \quad (3)$$

где i – идентификационный номер вопроса; D_p – множество дисциплин, которые может включить студент в свой индивидуальный учебный план по своему усмотрению; K – множество коэффициентов, где k_{ij} показывает влияние ответа на i -й вопрос на включение j -й дисциплины из множества D_p в индивидуальный учебный план студента; k – целое число, $k \in [0; 10]$, k определяется экспертами до начала работы с системой поддержки принятия решения.

Заключение

Новизна результатов, полученных в ходе исследования, заключается в следующем:

- 1) разработана инвариантная относительно специальности методика автоматизированного формирования индивидуализированных учебных планов при системе зачетных единиц;
- 2) создана система поддержки принятия решений студентом при составлении им своего индивидуального учебного плана и алгоритм ее функционирования.

Практическая значимость результатов исследования состоит в создании автоматизированной системы «Моделирование траектории обучения студента» для обеспечения возможности студентам создавать свои индивидуальные учебные планы при кредитно-модульной системе образования, учитывая при этом свои профессиональные навыки и предпочтения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интеграция России в Болонский процесс [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа : http://www.prof.msu.ru/publ/book6/c66_05.htm
2. Кравец, А. Г. Теория согласованного управления региональными ресурсами рынка труда и качеством подготовки специалистов: основные положения / А. Г. Кравец // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 1(27) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 1). – С. 77–80.
3. Автоматизированная система поддержки учебной траектории: пример реализации учебного курса / А. В. Исаев, А. Г. Кравец, М. П. Мельников, Р. А. А. Аль-Шаеби // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 3(76) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 10). – С. 103–106.
4. Кравец, А. Г. Автоматизация формирования индивидуальной траектории подготовки студента при кредитно-модульной системе обучения / А. Г. Кравец, Р. А. А. Аль-Шаеби // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9(82) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 11). – С. 117–122.

УДК 004.588+002.5:004

*Ю. М. Брумштейн, М. В. Иванова, Н. В. Хлопкова***АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРИМЕНЕНИЯ
ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ С ЧИСЛОВЫМИ ОТВЕТАМИ****Астраханский государственный университет**

E-mail: brum2003@mail.ru, maivam@rambler.ru, nataha155@yandex.ru

Рассмотрены особенности тестовых заданий (ТЗ) с вводом ответов в числовой форме. Показаны возможные подходы к автоматической генерации индивидуализированных ТЗ. Описаны направления контроля/исправления технических ошибок при вводе чисел. Проанализированы возможные методы оценки числовых ответов на ТЗ. Представлены алгоритмы, обеспечивающие вариативность действий самих тестируемых и тестирующих программ. Рассмотрены некоторые вопросы учета времени, расходуемого тестируемыми. Существующие компьютерные системы тестирования оценены в отношении использования предлагаемых методов.

Ключевые слова: тесты, тестовые задания, числовые ответы, генерация заданий, контроль ошибок ввода, оценка ответов, вариативность действий, учет времени.

*J. M. Brumshteyn, M. V. Ivanova, N. V. Hlopkova***THE ANALYSIS OF POSSIBILITIES AND TECHNOLOGIES APPLICATION
OF TEST TASKS WITH NUMERICAL ANSWERS****Astrakhan State University**

Features of test tasks (TT) with numerical form of answers are considered. Possible approaches to individualized TT automatic generation are shown. Directions for control/correction of entry numbers technical errors are described. Possible methods of estimation for numerical answers at TT are analyzed. The algorithms, providing variability of actions for tested persons and testing programs, are presented. Some questions, connected with time accounting which tested persons spent, are considered. Existing computer-aided testing systems are estimated concerning with application of offered methods.

Key words: tests, test tasks, numerical answers, generation of tasks, the control of input errors, an estimation of answers, variability of actions, time accounting.

Применение компьютеризованных систем тестирования (КСТ) – эффективный способ контроля знаний при входных, промежуточных, итоговых проверках результатов обучения (тренинга), оценках остаточных знаний и др. [6]. Поэтому весьма важно совершенствование: наборов тестовых заданий (ТЗ) для КСТ; технологий их использования при индивидуальном и групповом тестировании; методов оценки получаемых ответов; способов обеспечения вариативности действий тестируемых и адаптивности тестирующих программ [1; 2; 3]. Ниже эти вопросы анализируются с акцентом на ТЗ с ответами в числовой форме.

Мы не «привязываем» материал к какому-либо конкретным существующим КСТ, которые рассмотрены в конце статьи. Их функциональные возможности достаточно ограничены и не включают почти ничего из описываемых нами далее вариантов. Все КСТ массового использования являются «закрытыми» разработками и не допускают модификаций программного кода никем, кроме разработчиков. Поэтому анализируемые варианты могут быть реализованы лишь в рамках отдельных разработок.

**Общая характеристика ТЗ с числовыми
ответами и особенностей ввода информации
в них при тестировании**

В большинстве используемых сейчас тестов значительно преобладают «ТЗ с закрытой формой ответов» (ТЗсЗФО), т. е. с predetermined набором ответов, из которых тестируемый должен выбрать один или большее количество правильных [6], значительно реже – неправильных. Это количество может быть указано в формулировке вопроса ТЗсЗФО или его должен определить сам тестируемый, что сложнее. Формулировки predetermined ответов чаще всего «текстовые», но могут быть чисто числовыми или смешанными (текст + число/числа). Другие варианты ТЗсЗФО (определение соответствия утверждений в двух списках, ранжирование ответов по приоритетности) используются значительно реже [6].

Применение ТЗ с открытой формой ответов (ТЗсОФО), т. е. с их свободным вводом, распространено относительно слабо. Так, для всего массива ТЗ, используемых в Астраханском государственном университете, долю ТЗсОФО можно оценить величиной примерно в 4,5 %.

Эта доля минимальна (близка к нулю) для гуманитарных дисциплин и максимальна – для физико-математических и технических (до 6–8 %). При этом для ТЗсОФО в КСТ типично сравнение ответов с «эталоном», поскольку грамматический разбор фраз-ответов с анализом словоформ алгоритмически сложнее и обычно не гарантирует правильность обработки ответов.

Числовые ответы (ЧО) могут использоваться как в ТЗсЗФО, так и в ТЗсОФО. Отметим преимущества чисто ЧО (т. е. не содержащих текст) для ТЗсОФО: не нужен грамматический разбор фраз-ответов; возможны автоматический контроль и, в определенных пределах, исправление опечаток при вводе; обычно более низкая, чем в ТЗсЗФО вероятность угадывания правильных ответов; есть потенциальная возможность количественного анализа отклонений ЧО от «эталонных» значений или интервалов таких значений. Недостатки использования ЧО в ТЗсОФО для существующих КСТ: более высокая трудоемкость разработки заданий по сравнению с ТЗсЗФО – из-за необходимости формировать исчерпывающий набор всех возможных вариантов правильных ответов; время, затрачиваемое на ввод с клавиатуры ответов в ТЗсОФО больше, чем на выбор ответов из списка для ТЗсЗФО; возможны случайные ошибки ввода (опечатки); чаще всего нужно округление ЧО до заданной точности, что может усложнять ТЗ.

Отметим, что накопление и анализ ответов на ТЗсОФО, которые диагностированы КСТ как неверные, могут быть полезны и для выявления непредусмотренных при разработке вариантов правильных ответов.

Для ТЗсЗФО накопление данных о неверных ответах и их анализ в существующих КСТ не предусмотрены. Однако такой анализ может быть полезен – хотя бы для исключения из ТЗ неверных ответов, которые тестируемые практически не выбирают.

Как правило, в ЧО используются десятичные числа, но для некоторых дисциплин могут быть нужны двоичные, шестнадцатеричные и римские. Обычно в КСТ вводимый ЧО – это единственное число в форме с «фиксированной точкой», которое необходимо округлять до заданной точности. Однако для ряда задач физики, математики (и пр.) целесообразен ввод чисел и в «экспоненциальной форме», которая может быть вариативна. Это требует использования списка «эталонов» или автоматического определения формата числа и перевода его в стандартизованную форму.

Возможно и использование «шаблона ввода» на экране ПЭВМ. При этом для чисел с «фиксированной точкой» могут отображаться позиции для знака числа, десятичной точки, позиций цифр до и после нее.

Автоматическое исправление ошибок ввода возможно путем замены: запятой (как разделителя целой и дробной частей) на точку (или наоборот); символов «:» или «;» на точку; букв «o» и «O» на ноль; буквы «z» и «Z» на цифру «3»; «!» и «I» на «1»; «B» на «8».

Помимо одиночного числа ответ на ТЗ может быть вектором чисел (их количество может быть указано в формулировке ТЗ) или матрицей (в общем случае прямоугольной, а не квадратной). Частный случай «вектора» – пара чисел, представляющих собой границы («коридор») для результата или комплексное число. При вводе вектора чисел в общей строке необходимы их разделители. Альтернатива – применение отдельных «окон» для каждого из чисел, в том числе и с заданными «шаблонами ввода».

Для матриц при общей строке (поле) ввода для чисел целесообразны различные разделители между числами и строками чисел. Альтернатива – использование совокупности отдельных «окон» для строк чисел в матрице, в том числе с «шаблонами ввода» для каждого из чисел.

Если расчеты для ТЗ выполняются «на бумаге», то пропускная способность компьютеризованных рабочих мест для тестирования может быть невысокой. Поэтому для ТЗ с ЧО иногда целесообразно применение инструментальных средств (программ типа «калькулятор», «электронные таблицы» или клавишных калькуляторов). Однако «калькулятор» и/или «электронные таблицы» часто нельзя применить при КСТ, запущенной на той же ПЭВМ. Сотовые телефоны, коммуникаторы, iPhone, iPad (и пр.) нежелательны, так как они могут быть каналом получения подсказок и/или средством хранения электронных шпаргалок. Малогабаритные ПЭВМ (нетбуки) помимо этого позволяют осуществлять «неголосовую» связь через Интернет, искать в нем ответы на ТЗ и пр.

Принципы оценки числовых ответов на ТЗ без учета времени

Общая оценка по тесту, в котором используется количество ТЗ, равное «N», обычно определяется суммой баллов (S), фактически начисленных по каждому из заданий. Мы будем рассматривать набор этих баллов как вектор

$\{B_n\}_{n=1...N}$. В простейшем случае за верные ответы начисляется по «+1», а за неверные – по «0» баллов. При этом $S \leq N$, а критерий качества прохождения теста определяется по

$$\Theta = (S/N) * 100 \% \quad (1)$$

В большинстве существующих КСТ итоговая оценка тестируемого «привязывается» к интервалам значений Θ .

Однако для повышения объективности и информативности тестирования могут использоваться и иные подходы. Обозначим через « R » величину введенного тестируемым *единственного* ЧО на ТЗ и рассмотрим возможные методы обработки этого значения:

(К1) – формальное сравнение с заданным значением «эталона» (или «эталонных») на точное совпадение (это типично для существующих КСТ);

(К2) – проверка на попадание ответа в интервал, предусмотренный для верных значений (ИдВЗ) от $G_1^{(-)}$ до $G_1^{(+)}$

$$G_1^{(-)} = T - \Delta_1; G_1^{(+)} = T + \Delta_1, \quad (2)$$

где « T » есть величина «эталонного» ЧО, а значение Δ_1 используется для задания «ширины» ИдВЗ. Использование формулы (2) позволяет, в том числе, избежать жестких требований к округлению вводимого ЧО. Если ЧО попадает в ИдВЗ, то он считается верным. Если используются индивидуальные коэффициенты сложности ТЗ (КСТЗ) в виде набора $\{C_n\}_{n=1...N}$, то целесообразно за правильный ответ по n -му ТЗ в сумматор баллов «по тесту в целом» добавлять именно « C_n », т. е. реализовывать операции

$$B_n = C_n; \quad S = S + B_n. \quad (3)$$

Если же ответ не попадает в ИдВЗ, то возможны два подхода:

(К2-1) – ответ считается «неверным» при любом выходе ЧО за границы ИдВЗ. В существующих КСТ при этом типично начисление «0» баллов. Однако, вероятно, эффективнее начисление штрафных баллов (ШБ), обратно пропорциональных C_n , т. е. использование для (3)

$$B_n = -(\beta/C_n), \quad (4)$$

где β – коэффициент, согласовывающий масштабы величин для положительных баллов за верные ответы (C_n) и ШБ за неверные ответы. Альтернативой может быть применение заданных разработчиком пар значений $\{C_n^+; C_n^-\}_{n=1...N}$ и использование в (3) значения C_n^+ при верном

ответе и C_n^- при неверном. Понятно, что $C_n^- < 0$;

(К2-2) – по-разному оценивать «неточные» и «грубо ошибочные» ответы, для чего задается «охватывающий интервал» (ОИ) от $G_2^{(-)}$ до $G_2^{(+)}$:

$$G_2^{(-)} = T - \Delta_2; G_2^{(+)} = T + \Delta_2; \quad \Delta_2 > \Delta_1, \quad (5)$$

где значение Δ_2 используется для задания «ширины» ОИ.

При выходе за границы ОИ ответ считается «грубо ошибочным» и за него начисляется C_n^- баллов (см. выше). Если же величина ЧО на ТЗ находится в пределах между границами ИдВЗ и ОИ, то ответ считается неточным, а B_n рассчитывается. Для $G_1^{(+)} \leq R \leq G_2^{(+)}$ целесообразно использовать

$$B_n = (1 - \lambda)C_n - \lambda(\beta/C_n), \quad (6)$$

$$\lambda = \left| (R - G_1^{(+)}) / (G_2^{(+)} - G_1^{(+)}) \right|. \quad (7)$$

Формулы (6), (7) обеспечивают совпадение: со B_n значением для верного ответа – если число лежит на нижней границе ОИ (т. е. на границе ИдВЗ); значением для неверного ответа – если число лежит на верхней границе ОИ. Таким образом, (6), (7) в зависимости от R могут давать B_n как большие, так и меньшие нуля. При $G_2^{(-)} \leq R \leq G_1^{(-)}$ (6) сохраняется, а вместо (7) имеем

$$\lambda = \left| (R - G_2^{(-)}) / (G_1^{(-)} - G_2^{(-)}) \right|. \quad (8)$$

В общем случае вместо (6)–(8) могут использоваться зависимости, несимметричные относительно границ ИдВЗ, и/или нелинейные.

Вариант «К3» (и два его подварианта) для единственного ЧО представляют собой аналог «К2», но ИдВЗ и ОИ задаются неявно – в виде максимальных относительных отклонений (МОО) ε_1 и ε_2 от эталонного значения « T »:

$$G_1^{(+)} = T + \varepsilon_1 T; \quad G_2^{(+)} = T + \varepsilon_2 T;$$

$$G_1^{(-)} = T - \varepsilon_1 T; \quad G_2^{(-)} = T - \varepsilon_2 T. \quad (9)$$

Анализ ЧО на ТЗ в виде «векторов» и «матриц» требует отдельного обсуждения. В простейшем случае рассмотренный подход на основе ИдВЗ и ОИ может быть обобщен на каждый из ЧО – с получением суммы «частных баллов» по ним, хотя это может потребовать индивидуального задания допустимых отклонений от « T » для каждого из чисел в ответе. При этом «частный балл» для верного ответа ($B_n^{(вер-части)}$) за каждый ЧО в n -м ТЗ

$$B_n^{(\text{вер-части})} = C_n / I_n. \quad (10)$$

где I_n – суммарное количество ЧО в n -м ТЗ. Для ШБ подход аналогичен. Однако если хотя бы один ЧО будет выходить за пределы ОИ, то ответ на ТЗ целесообразно считать неверным.

Для ЧО в виде векторов и матриц использование варианта «КЗ» более экономично, особенно если МОО общие для всех чисел-ответов.

При досрочном прекращении тестирования по инициативе тестируемого за непройденные ТЗ могут начисляться либо нулевые баллы (что соответствует отказу от ответов), либо ШБ – как за неверные ответы.

Методы обеспечения объективности, вариативности и адаптивности наборов ТЗ для разных тестируемых

В простейшем случае КСТ обеспечивают прохождение всеми тестируемыми одних и тех же ТЗ, хотя, иногда, и в разном порядке [6]. При этом типична выдача итоговых результатов по тесту в целом, но не по отдельным ТЗ. Однако при обучающем тестировании (ОТ) целесообразно воспроизводить оценку ответа на каждый ТЗ и накопленную сумму баллов.

В ряде КСТ после завершения теста тестируемый может просмотреть свой «протокол по ТЗ» и оценить, какие из ответов были верными. Поэтому, если количество ТЗ ограничено, а тестируемых достаточно много, то они могут верные ответы определить «экспериментально».

Наличие у ТЗ дескриптора базового КСТЗ позволяет осуществлять до начала теста отбор ТЗ по заданному интервалу уровней сложности. Это в принципе должно улучшать дифференцирующую способность теста, а также обеспечивать его адаптивность [3; 4]. Этот интервал может быть задан: «априорно» (исходя из оценки, на которую претендует сам тестируемый); по результатам предыдущих тестирований данного человека и пр.

В общем случае отбор ТЗ по интервалу КСТЗ может осуществляться не только до начала тестирования, но и динамически (по ходу тестирования) – с учетом результатов ответов и затраченного времени.

Уровнями требований к точности числовых ответов можно в определенных пределах управлять за счет пропорционального изменения величин ИдВЗ и ОИ для ТЗ. Такое управление возможно не только для групп тестируемых (например, в вузе для разных курсов/специальностей), но и для отдельных лиц, проходящих тесты.

Обеспечение индивидуальных (индивидуализированных) заданий для тестируемых может быть организовано различно:

(АО) – генерация «оптимального» набора ТЗ для конкретного тестируемого может быть выполнена на основе «модели обучаемого» и «модели предметной области», для которой осуществляется тестирование. Однако в практическом плане реализовать это обычно достаточно сложно. Поэтому далее рассматриваются более «простые» варианты;

(А1) – случайный выбор заданного количества ТЗ из базы ТЗ, где их больше, чем нужно для теста. При этом для отдельных тестируемых количество ТЗ может быть «не несбалансированным» по тематике. Если используется фильтр ТЗ по КСТЗ, то случайный выбор ТЗ должен «работать» уже после такой фильтрации.

При случайном порядке ТЗ в тесте, они не соответствуют логической последовательности тем учебного курса. Поэтому при случайном отборе ТЗ из общей базы ТЗ перед началом теста, полезно их отсортировать в логической последовательности. Выборочное использование ТЗ исключает ссылки из текущих ТЗ на предыдущие;

(А2) – в базе ТЗ вместо единственного ТЗ с фиксированной формулировкой вопроса используется некоторый кластер ТЗ, соответствующий одной «микротеме» курса, по которому осуществляется тестирование. В кластере ТЗ формулировки текстовой части вопросов (заданий) примерно одинаковы, но отличаются их числовые значения (параметры). Для каждого тестируемого в очередном кластере выбирается только одно ТЗ. Преимущество «А2»: вариативность заданий для тестируемых; возможность прохождения всех кластеров в заданной логической последовательности. Недостатки: большой объем базы с ТЗ; необходимость ее структуризации в виде кластеров и пр. Для конкретного тестируемого ТЗ может выбираться из кластера: (А2-1) по целочисленному остатку от деления номера тестируемого в списке учебной группы, например, на «5»; (А2-2) случайным образом; (А2-3) соответственно заданному интервалу КСТЗ + случайный выбор из отобранных ТЗ. Недостатки «А2-1»: при повторном тестировании одного и того же лица ТЗ будут повторяться; первые по порядку ТЗ в кластерах будут использоваться чаще, чем последние – особенно при небольших группах. Общий недостаток «А2-2» и «А2-3» – возмож-

ность совпадения ТЗ из кластера для разных лиц из группы тестируемых. Кроме того, для «А1-3» в кластере необходимы ТЗ для разных уровней КСТЗ;

(А3) – вместо кластера ТЗ используется единственное ТЗ, но в его формулировку перед отображением на дисплее вставляется одно или несколько числовых значений, сгенерированных случайным образом в заданных пределах, а верный вариант ЧО рассчитывается.

В типичных случаях использования КСТ осуществляется *прохождение* всеми тестируемыми заданного *общего набора ТЗ* в тесте: (v1) – в определенной последовательности, одинаковой для всех тестируемых (это нежелательно для группы лиц, одновременно тестируемых в компьютерном классе); (v2) – в полностью случайном порядке (случайный выбор ТЗ из тех, которые еще не пройдены); (v3) – в произвольном порядке, выбираемом самими тестируемыми. Для «v3» иногда допускается подготовка совокупности ответов сразу по всем ТЗ (в том числе с возможностью неоднократной корректировки ответов) и их ввод в КСТ после щелчка на кнопке «Завершить тестирование». Указанные три варианта (v1, ..., v3) могут использоваться и при вариативных ТЗ, соответствующих пунктам А2 и А3.

При очень низком «качестве ответов» тестируемого целесообразно прерывание прохождения теста «по инициативе программы».

Анализ состава и целесообразности некоторых нетрадиционных действий тестируемых при работе с тестами

Описываемые варианты решений (действий) не встречаются в существующих КСТ. Они могут выполняться по инициативе тестируемых лиц:

(w1) – уменьшить количество предлагаемых ответов (для ТЗ с определенными ЧО). Решение рационально, в основном, для случая одного верного ответа из числа предлагаемых. При этом необходимо снижать (по отношению к исходному) значение КСТЗ; (w2) – «спросу подсказку» или «краткое пояснение» по ТЗ. Это также должно снижать КСТЗ; (w3) – заменить предложенное ТЗ (только его) на более простое или сложное (соответственно при этом КСТЗ меняется в меньшую или большую сторону). При этом время на ознакомление с первоначально предложенным ТЗ целесообразно «вычесть» из сумматора использованного времени

на тест. Такой подход предполагает наличие в кластерах ТЗ с разным уровнем сложности; (w4) – пропустить ТЗ. При этом за ответ можно начислять «0» баллов» или ШБ. В последнем случае вместо набора $\{C_n^+; C_n^-\}_{n=1...N}$ (см. выше), целесообразен набор $\{C_n^+; C_n^-; C_n^*\}_{n=1...N}$, где третий параметр ($C_n^* < 0$) соответствует ШБ при пропуске ТЗ. Количество таких «инициативно пропускаемых» ТЗ целесообразно ограничивать, а пропуск некоторых «ключевых» ТЗ должен блокироваться; (w5) – перейти на использование всех последующих ТЗ с меньшим или большим уровнем КСТЗ. Это также требует наличия кластеров ТЗ или управления сложностью ТЗ путем изменения количества определенных ответов; (w6) – воспроизвести фрагмент учебного материала по теме ТЗ, в том числе, возможно, с примерами – это требует более значительного, чем для «w3» снижения КСТЗ. Следует ли время ознакомления с этим фрагментом учитывать «на общих основаниях»? Если ставится цель ОТ, то, очевидно, нет; (w7) – запросить возможность повторение ввода ответа на ТЗ, если в первой попытке ответ был неверен. Количество повторных попыток целесообразно ограничивать, причем, возможно, индивидуально для каждого ТЗ. Определение доли правильных повторных ответов на ТЗ по тесту в целом может быть важной характеристикой, в том числе для оценки осмысленности ответов тестируемого на задания; (w8) – показать на экране расчет правильного результата (ЧО). Это действие может быть полезным лишь при ОТ в случае неверного или неточного ответа. При этом неточный ответ должен быть специально диагностирован; (w9) – прервать тестирование на определенный период времени. Поскольку тестируемый за период «паузы» может ознакомиться с материалом по книгам, то целесообразно начисление ШБ, причем пропорциональных длительности паузы; (w10) – закончить тестирование «досрочно», т. е. до прохождения всех предусмотренных ТЗ. За непройденные ТЗ могут начисляться ШБ – соответственно набору $\{C_n^*\}_{n=1...N}$.

Повторным попыткам ответов (согласно w7) может предшествовать использование тестируемым вариантов w1, w2, w3, w6. При этом целесообразно не только снижение КСТЗ для задания, но и начисление ШБ. В общем случае величины таких ШБ должны быть тем больше,

чем больше номер повторной попытки. После варианта **w8** возможность использования повторных попыток необходимо исключить.

Использование даже части описанных выше вариантов действий дает тестируемому возможность «инициативной адаптации» тестов, что позволяет повысить эффективность их применения – как для обычного тестирования, так и для ОТ. Отметим еще целесообразность отдельного набора ТЗ для ОТ. Иначе прошедшие его лица потенциально могут передавать верные ответы тем, кто еще не проходил тестирование знаний. Однако необходимость иметь разные, но близкие по сложности, наборы ТЗ резко увеличивает объем работ по созданию тестов.

Учет времени выполнения для ТЗ с числовыми ответами

Для существующих КСТ типично ограничение времени по тесту в целом, но не по одному ТЗ. При этом если время истекло, то тестирование прекращается. Однако, в ряде случаев (особенно при ОТ), время целесообразно не ограничивать, а учитывать его при оценке результатов отдельных ТЗ и/или теста в целом. Такие подходы развиваются, в частности, в [5], однако только в отношении «норматива» времени на отдельное ТЗ. Оценка времени ответов может быть особенно существенной для специальных «блиц-тестирований», при которых оцениваются не только знания, но и «скорость мышления». Примем, что норматив времени для n -го ТЗ есть t_n^{norm} . В качестве фактического «времени ответа» для n -ого ТЗсОФО (t_n^{fact}) представляется более объективным брать продолжительность периода от момента предъявления ТЗ до начала ввода ЧО (или использовать стандартную поправку, зависящую от количества чисел при ответе на n -е ТЗ).

При $t_n^{fact} \neq t_n^{norm}$ баллы, начисленные за n -е ТЗ, целесообразно корректировать с использованием поправки

$$\Omega_n = \mu \left| t_n^{(fact)} - t_n^{(norm)} \right|, \begin{cases} \mu = \eta_{n,1} & \text{при } t_n^{(fact)} > t_n^{(norm)} \\ \mu = \eta_{n,2} & \text{при } t_n^{(fact)} < t_n^{(norm)} \end{cases}; \quad \eta_{n,1} < 0; \quad \eta_{n,2} > 0 \quad (11)$$

где коэффициенты $\mu, \eta_{n,1}, \eta_{n,2}$ обеспечивают согласование «масштаба» поправки с баллами, определенными по ранее приведенным алгоритмам. Обычно целесообразно брать $|\eta_{n,1}| > |\eta_{n,2}|$.

Поправка (11) может учитываться как аддитивная

$$B_n^* = B_n + \Omega_n \quad (12)$$

или как мультипликативная

$$B_n^* = B_n \Omega_n. \quad (13)$$

При этом для (12) размерность поправки Ω_n в (11) должна соответствовать «баллам», а для (13) необходима безразмерная Ω_n .

В [5] предлагается иной вариант поправки для B_n с общей формулой для случаев $t_n^{(fact)} > t_n^{(norm)}$ и $t_n^{(fact)} < t_n^{(norm)}$. В наших обозначениях – это

$$B_n^* = B_n * \exp(\eta_3(t_n^{(fact)} - t_n^{(norm)})), \quad (14)$$

где безразмерный согласующий коэффициент η_3 является отрицательным. При этом в [5] экспоненциальный характер зависимости никак не обосновывается, но «постулируется», что «*время решения задачи пропорционально ее трудности*». Последнее утверждение, т. е. фактически линеаризация зависимости, очевидно справедливо лишь при относительно небольших изменениях КСТЗ.

В сумматорах баллов по тестам скорректированные по формулам (12), (13) или (14) значения B_n^* могут использоваться вместо B_n .

Для теста в целом также может быть использована корректировка набранной суммы баллов на основе формул (11)–(13) или (14) – если тест пройден полностью. Такая корректировка для всего теста может быть альтернативной по сравнению корректировкой для отдельных ТЗ или дополнительной по отношению к ним. В последнем случае учет «поправки» по времени, затраченному на тест в целом, может носить как аддитивный, так и мультипликативный характер.

Оценка возможностей и функциональных недостатков общераспространенных КСТ в отношении ТЗ с числовыми ответами

Нами был произведен анализ функциональности следующих КСТ: **SunRav TestOfficePro v 5.1** (www.sunrav.ru); **Moodle** (www.moodle.org); **Мастер Тест** (www.master-test.net); **АСТ-Тест** (www.ast-centre.ru); **OpenTEST 2.0** (www.opentest.com.ua); **Assistent** (www.asksystem.narod.ru); **Uniar Builder 2002** (www.uniar.ru). В Астраханском госуниверситете используется КСТ «АСТ-Тест», под которую и написано большинство ТЗ. Данная КСТ применяется для проведения промежуточного и итогового контроля знаний по предметам, госэкзаменов в форме тестирования.

Выполненный нами анализ показал, что большинство указанных КСТ не обладают нужной функциональностью в отношении ЧО: в том числе рассчитаны на работу лишь с наборами «эталонов»; не содержат средств адаптации в отношении сложности ТЗ и «тестов в целом»; нет в них и средств поддержки «инициативных действий» тестируемых лиц. Исключением в отношении возможностей анализа/корректировки ЧО является система Moodle, которая: позволяет задавать диапазоны относительных отклонений ЧО; обеспечивает автоматическую замену запятой (как разделителя целой и дробной частей ЧО) на точку (или наоборот). В этой КСТ возможен ввод ответа не только в виде одного числа, но и в виде вектора чисел, матрицы или формулы. При этом применяются отдельные «окна» для каждого из таких объектов ввода.

В типичных КСТ обычно не учитывается время ответов на ТЗ. Одним из немногих исключений является «Конструктор тестов» (www.keepersoft.ru/simulator.htm). В нем за неверный ответ начисляется «0», а за верный [5] при $t_n^{(fact)} > t_n^{(norm)}$ – балл по (в наших обозначениях)

$$B_n^* = 1 - (t_n^{(fact)} - t_n^{(norm)}) / 100. \quad (15)$$

При отрицательном B_n^* задание считается невыполненными и за него начисляется «0» баллов. При $t_n^{(fact)} < t_n^{(norm)}$ принимается $B_n^* = 1$. Таким образом, не учитываются КСТЗ; не корректируются баллы при выполнении ТЗ за время, меньшее нормативного. С нашей точки зрения,

в (15) «напрашивается» еще некоторый коэффициент пропорциональности перед скобкой, связанный с необходимостью учета КСТЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Управление качеством электронных обучающих систем в контексте развития современного высшего профессионального образования / П. Н. Воробкалов, А. В. Исаев, В. А. Камаев, А. Г. Кравец, О. А. Шабалина. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2011. – 114 с.
2. Воробкалов, П. Н. Метод оценки качества адаптивных обучающих систем с использованием имитационного моделирования / П. Н. Воробкалов, О. А. Шабалина // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 7 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе. Вып. 4). – С. 164–166.
3. Воробкалов, П. Н. Управление качеством процесса разработки адаптивных обучающих систем с использованием многослойного подхода // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2(28) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 2). – С. 63–64.
4. Зайцева, Л. В. Модели и методы адаптивного контроля знаний / Л. В. Зайцева // Educational technology & Society. – 2004б. – № 7(4). – С. 265–277.
5. Лантев, В. В. Учет времени при оценивании результатов автоматизированного контроля // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11(71) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 102–105.
6. Хлопкова, Н. В. Совершенствование системы управления качеством образования на основе внедрения электронного тестирования / Н. В. Хлопкова // Стратегическое планирование инновационной деятельности и способы коммерциализации научно-технической продукции. – Астрахань : Астраханский университет, 2008. – С. 37–38.

УДК 004.8:681.3

Т. И. Гайрабекова, И. Ю. Квятковская***

ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ИСПОЛНИТЕЛЕЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

*Чеченский государственный университет

**Астраханский государственный технический университет

E-mail: sti_ing@mail.ru, i.kvyatkovskaya@astu.org

Рассмотрены вопросы структурирования сельхозпроизводителей для формирования хозяйственных единиц, устойчивых в условиях кризиса. Разработаны алгоритмы формирования управленческих решений, позволяющие создать рациональный состав исполнителей бизнес-процессов в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, информационно-аналитическая система, бизнес-процесс, кооператив.

T. I. Gayrabekova, I. Y. Kvyatkovskaya***

FORMATION OF THE RATIONAL STRUCTURE OF BUSINESS PROCESSES IN AGRICULTURE

*Chechen State University

**Astrakhan State Technical University

Questions of structurization of agricultural manufacturers for formation of the economic units steady in the conditions of crisis are considered. Algorithms of formation of the administrative decisions are developed, allowing to generate a rational cast of business processes in agriculture.

Keywords: agriculture, information-analytical system, business process, cooperative society.

В условиях кризиса агропромышленный комплекс (АПК) должен быть готов к любым изменениям, имея достаточно гибкую структуру управления, позволяющую быстро реагировать на угрозы и минимизировать их отрицательное воздействие. Диверсификация хозяйственной деятельности предприятий агропромышленного комплекса привела к формированию новых хозяйственных единиц сельскохозяйственного потребительского снабженческо-сбытового кооператива (СП ССК), трансформирующих структуру управления АПК в дивизиональную структуру. Она основана на соответствии крупных самостоятельных производственно-хозяйственных подразделений отдельным уровням управления и передаче этим уровням ответственности за получение прибыли.

Присутствие дивизиональной структуры управления АПК позволяет кооперировать группы производителей внутри СП ССК в целях эффективного продвижения товарной продукции от сельхозпроизводителя к потребителям. В этом случае часть бизнес-процессов (БП) приобретает сквозной или межфункциональный характер. Это, в первую очередь, БП, связанные с передачей с/х продукции на переработку; процессы производства услуг и с/х продукции; процессы, связанные с внедрением новых технологий выращивания [1].

С позиции сельхозпроизводителя, сквозной БП предполагает сопровождение его на всех этапах взаимодействия с внешней средой, организации оперативного документооборота и обработки заявок, своевременной доставки горюче-смазочных материалов, посевного материала (и пр.), достоверного и своевременного информирования, качественного информационного консультирования и сопровождения продукции [2, 3]. Объединение сельскохозяйственных предприятий, крестьянских (фермерских) хозяйств, личных подсобных хозяйств в кооператив необходимо для организации сквозного БП путем формирования состава его исполнителей.

Целью данной работы является разработка механизмов формирования рационального состава исполнителей бизнес-процессов сельскохозяйственной отрасли.

Введем понятие компетенции участника АПК, представляющее собой формальную системную характеристику, определяющую потенциал участника к выполнению заданного БП. Процедуры принятия управленческих решений основаны на экспертных оценках харак-

теристик m однородных объектов АПК $OBJ = \{Obj_1, Obj_2, \dots, Obj_m\}$: субъектов хозяйствования, бизнес-систем, элементов инфраструктуры, исполняемых бизнес-процессов – альтернатив при решении задач выбора.

Обозначим компетенцию участника Obj к выполнению БП:

$$КОМП = \text{Komp}_i(\text{Obj}),$$

где $\text{Komp}_i \in F$; $i = \overline{1, n}$ – вектор совокупности признаков i -й компетенции.

Будем считать, что компетенции всех участников одного БП АПК определены в некотором универсуме F , но могут быть заданы различными способами. Оценки компетенций могут быть определены в любой доступной метрической шкале.

Если используется только признак наличия либо отсутствия заданной компетенции у объекта, то компетенция представима в бинарном виде, допускающем применение булевых операций:

$$\text{Komp}(\text{Obj}) = \begin{cases} 1, & \text{если } \text{Obj} \text{ обладает заданной компетенцией;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Также возможно задание компетенций в виде функций выбора

$$\text{КОМП1} = C_i(\text{OBJ}), \text{ КОМП2} = C(\text{КОМП1}),$$

где $\text{КОМП} = C(C_i(\text{OBJ}))$ представляет собой произведение функций выбора. Выбор осуществляется сначала в соответствии с функциями C_i , а затем из полученного множества $\{C_1(\text{OBJ}), \dots, C_n(\text{OBJ})\}$ осуществляют выбор в соответствии с функцией C .

Например, функция выбора C_i отбирает исполнителей i -го БП из исходного множества по одному или нескольким критериям – формируется множество допустимых решений, а функция выбора C из полученного подмножества осуществляет вторичный выбор – формируется множество наилучших (нехудших) решений.

При формировании состава участников БП формируется подмножество OBJ^j участников, обладающих:

– допустимой компетенцией для включения в состав БП:

$$OBJ^j = \{Obj \in OBJ \mid \text{Komp}_i(\text{Obj}) \succ 0 (\text{Komp}_i(\text{Obj}) \geq a, a = \text{const})\};$$

– оптимальной компетенцией:

$$OBJ^j = \{Obj \in OBJ \mid \text{Komp}_i(\text{Obj}) \rightarrow \text{opt}\}.$$

– требуемой компетенцией:

$$OBJ^j = \{Obj \in OBJ \mid Komp_i(Obj) \equiv const\}.$$

Далее происходит объединение либо пересечение найденных подмножеств. Например, для выявления всех возможных участников, способных осуществлять сквозной БП, обеспечиваемый СП ССК, определяется

$$OBJ^{Proc} = \bigcup_{i=1}^n OBJ^i.$$

При выявлении набора минимального количества участников, адекватных к выполнению всех подпроцессов сквозного БП, определяется подмножество минимальной мощности:

$$OBJ^{Proc} = \bigcap_{i=1}^n OBJ^i, \mid OBJ^{Proc} \mid \rightarrow \min.$$

Состав элементов множества OBJ^{Proc} пригоден, например, для выбора среди возможных кандидатов хозяйства-интегратора СП ССК, наиболее адекватного к выполнению данного БП.

Для оценки объектов АПК по группе компетенций выраженное мнение экспертов может быть зарегистрировано в виде:

– результирующего вектора оценок объектов по группе компетенций, полученного с учетом согласованности мнений экспертов;

– матрицы предпочтений, учитывающей мнение всех экспертов без образования результирующей оценки;

Для решения задачи ранжирования в первом случае предлагается алгоритм, использующий алгебраические методы обработки экспертной информации, основанные на введении расстояния между оценками; во втором – алгоритм нечеткой рейтинговой оценки, использующий приведение всей системы оценок к единой метрической шкале с использованием аппарата нечетких множеств.

Оба алгоритма используют таблицу предпочтений (табл. 1), связывающую оценки n компетенций $Komp_i, i = \overline{1, n}$ с объектами $Obj_j, j = \overline{1, m}$. Каждая i -я строка таблицы содержит оценки i -й компетенции для n объектов: $P_i = (P_{i,1}, P_{i,2}, \dots, P_{i,m}), i = \overline{1, n}$. Для экспертизы компетенций объектов привлекаются сотрудники вышестоящих уровней иерархии системы управления АПК: представители сельскохозяйственных отраслей, экономисты, технологи, менеджеры [6]. Каждый из них выполняет экспертизу в своей собственной шкале, что затрудняет последующую обработку и анализ результатов, поэтому предлагаемый алгоритм ис-

пользует переход к однородной порядковой шкале [4; 5].

Таблица 1

Оценки компетенций объектов

Оценки компетенций \ Объекты	Obj_1	Obj_2	...	Obj_m
$Komp_1$	$P_{1,1}$	$P_{1,2}$	...	$P_{1,m}$
...
$Komp_n$	$P_{n,1}$	$P_{n,2}$	...	$P_{n,m}$

1. Переведем все оценки компетенций объектов в порядковую шкалу и определим, может ли быть выражено предпочтение рангами.

2. Для каждой i -й строки таблицы зададим вектор предпочтений $\lambda_i = (\lambda_{i,1}, \lambda_{i,2}, \dots, \lambda_{i,m})$, каждый элемент которого λ_{ij} показывает, по какому количеству оценок j -й элемент вектора P_i предпочтительнее всех m оценок этого вектора.

3. Объединим полученные n ранжировок $\Lambda = \{\lambda^1, \lambda^2, \dots, \lambda^n\}$, в матрицу Λ , столбцы которой соответствуют экспертным оценкам каждой альтернативы: $\Pi = \{\pi^1, \pi^2, \dots, \pi^m\}$ и выражены рангами.

4. Построим матрицу $R = \{r_{kl}\}$, где $r_{kl} = d(\pi^k, \pi^l)$; $k = \overline{1, m}; l = \overline{1, m}; \pi^l = (l, \dots, l)$; $d(a, b)$ – расстояние между ранжировками, определяемое по формуле медианы Кемени–

Снелла: $d(a, b) = 1/2 \sum_{i=1}^n |a_i - b_i|$.

5. Найдем итоговую ранжировку

$$\lambda_0 = \text{Arg min}_{\lambda \in \Lambda} \sum_{i=1}^n d(\lambda, \lambda^i).$$

6. Решим задачу о назначениях, сведенную к минимизации функционала:

$$\sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m r_{kl} \cdot x_{kl} \rightarrow \min, \sum_{k=1}^m x_{kl} = 1, \sum_{l=1}^m x_{kl} = 1, x_{kl} \geq 0,$$

где X – бинарная матрица назначений:

$$x_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-й объект назначен на } l\text{-е место;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

7. В результате получим ранжировку λ_0 , в которой i -й объект занимает k -е место. Таким образом решена задача ранжирования, заключающаяся в упорядочении объектов, образующих систему, по убыванию свойств. Список линейно-упорядоченных объектов может быть обобщен для качественных выводов.

8. Используя схему весов Фишберна, определим коэффициенты предпочтений каждой из

систем, сопоставляя убывающей последовательности приоритетов систему убывающих по правилу арифметической прогрессии весов. При наличии смешанной системы предпочтений веса альтернатив определяются в виде рациональной дроби:

$$p_i = \frac{u_i}{v_i}, i = \overline{1, n},$$

где числитель u_i вычисляется по рекурсивной схеме:

$$u_{i-1} = \begin{cases} u_i, F_{i-1} \approx F_i \\ u_i + 1, F_{i-1} \succ F_i, u_N = 1, i = \overline{n, 2}. \end{cases}$$

Общий знаменатель всех дробей Фишберна найдем по формуле

$$V = \sum_{i=1}^n u_i.$$

Для объединения в одной оценочной системе качественных и количественных рейтинговых оценок предлагается перейти к нечеткой оценочной системе [7; 8].

Для преобразования данных из различных шкал к единой шкале отношений используется функция преобразования F_{np} , вид которой определяет ЛП. Функция преобразования характеризует степень выраженности проявленного качества с использованием лингвистических градаций, например, с использованием пятифакторного классификатора {«Очень высокое», «Высокое», «Среднее», «Низкое», «Очень низкое»}, задающим терм-множество

$$\{ "OB", "B", "C", "H", "OH" \}.$$

Лингвистическую переменную определим как кортеж $\langle \beta, T, D \rangle$, где β – название лингвистической переменной «Уровень компетенции

объекта»; T – терм-множество {“OB”, “B”, “C”, “H”, “OH”}; D_β – универсум нечетких переменных, входящих в лингвистическую переменную β . Для определения лингвистической переменной целесообразно использовать трапециевидный или треугольный вид функции принадлежности.

Степень качества показателя определяется как функция отображения $F_{np} : P_i \rightarrow [0, 1] = \mu_\beta(P_i)$, где P_i – показатель, участвующий в рейтинговой оценке; β – описанная лингвистическая градация степени выраженности качества и соответствующих им числовых оценок из интервала $[0, 1]$.

Зададим конечное нечеткое отношение $Q_H = \{ P, \mu_{Q_H}(P) \}$ в виде таблицы:

	<i>Obj₁</i>	<i>Obj₂</i>	...	<i>Obj_m</i>
<i>Komp₁</i>	$\mu_{Q_H}(P_{1,1})$	$\mu_{Q_H}(P_{1,2})$	...	$\mu_{Q_H}(P_{1,m})$
...
<i>Komp_n</i>	$\mu_{Q_H}(P_{n,1})$	$\mu_{Q_H}(P_{n,2})$	...	$\mu_{Q_H}(P_{n,m})$

или же в виде матрицы:

$$M = \begin{bmatrix} \mu_{Q_H}(P_{1,1}) & \mu_{Q_H}(P_{1,2}) & \dots & \mu_{Q_H}(P_{1,m}) \\ \mu_{Q_H}(P_{2,1}) & \mu_{Q_H}(P_{2,2}) & \dots & \mu_{Q_H}(P_{2,m}) \\ \dots & \dots & \mu_{Q_H}(P_{i,j}) & \dots \\ \mu_{Q_H}(P_{n,1}) & \mu_{Q_H}(P_{n,2}) & \dots & \mu_{Q_H}(P_{n,m}) \end{bmatrix}$$

В предположении, что для ЛПР качество всех показателей возрастает линейно с увеличением значения показателя, определим β (табл. 2).

Таблица 2

Лингвистические градации качества

<i>N</i>	β_n	$D_\beta = [a; b]$	$\mu_\beta(d)$
1.	Очень высокое	[0,65; 0,8]	$f(x; a, b) = \begin{cases} 0, x \leq a \\ \left(\frac{x-a}{b-a} \right), a \leq x \leq b \\ 1, x \geq b \end{cases}$
2.	Высокое	[0,5; 0,8]	$f_\Delta(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, a \leq x \leq b \\ \frac{c-z}{c-b}, b \leq x \leq c \\ 0, x \geq c \end{cases}, b = (a+c)/2$

Окончание табл. 2

N	β_n	$D_\beta = [a; b]$	$\mu_\beta(d)$
3.	Среднее	[0,35; 0,65]	$f_\Delta(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-z}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq c \end{cases}, b = (a+c)/2$
4.	Низкое	[0,2; 0,5]	$f_\Delta(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-z}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq c \end{cases}, b = (a+c)/2$
5.	Очень низкое	[0,2; 0,35]	$f(x; a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \left(\frac{b-x}{b-a} \right), & a \leq x \leq b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$

Дальнейшее ранжирование объектов $Obj_1, Obj_2, \dots, Obj_m$ с использованием полученной матрицы оценок M возможно с применением методов теории принятия решений. Например, возможно агрегирование показателей в скалярный показатель оценки i -го объекта с использованием аддитивной интегральной функции и весов, назначенных экспертами. В качестве базового значения весов k для каждого термина лингвистической переменной предлагаются следующие значения:

- 1) Очень высокое – 0,8;
- 2) Высокое – 0,65;
- 3) Среднее – 0,5;
- 4) Низкое – 0,35;
- 5) Очень низкое – 0,2.

Значения весов соответствуют точкам, где функция принадлежности для каждого термина лингвистической переменной принимает значение, равное единице. Совокупное значение показателя определяется формулой

$$P_{i,j} = \sum_{l=1}^{kt} k_l \cdot \mu_l(P_{i,j}),$$

где kt – количество термов лингвистической переменной; k_l – параметр весомости l -го термина; μ_l – значение функции принадлежности для l -го термина.

Комплексное значение рейтинговой оценки рассчитывается как

$$P_j = \sum_{i=1}^n c_i \cdot P_{i,j},$$

где v_i – параметр весомости i -го эксперта, если эксперты неравноважны.

Изложенные подходы и алгоритмы могут быть использованы в работе информационно-аналитической системы регионального агропромышленного комплекса. В число задач такой системы входит ранжирование с/х производителей для различных целей: включение в состав модельных (тестовых) хозяйств, отбор для инвестиционной поддержки и др. Для решения подобных задач, характеризуемых множеством оценок объектов в различных шкалах измерений, предлагаются результаты данной работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические рекомендации по адаптации сельхозтоваропроизводителей России к условиям кризиса [Электронный ресурс] / Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова. – 2010. – Режим доступа : <http://www.mcx.ru/navigation/docfeeder/show/201.htm>.
2. Квятковская, И. Ю. Концептуальная информационная модель регионального кластера / И. Ю. Квятковская // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – № 1. – С. 55–59.
3. Миненок, Н. Д. Механизм создания сельскохозяйственного потребительского кооператива / Н. Д. Миненок, М. Н. Данилова // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2010. – № 13. – С. 74–76.
4. Оптимизационные модели распределения инвестиций на предприятии по видам деятельности / С. А. Баркалов [и др.]. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 68 с.

5. *Камаев, В. А.* Классификации договоров страхования при управлении рисками страховой компании / В. А. Камаев, О. Н. Маштак, А. Г. Кравец // Успехи современного естествознания : науч.-теорет. журн. – 2004. – № 5. – С. 188–190.

6. *Камаев, В. А.* Интеллектуальная среда управления ресурсами рынка труда и образовательных услуг / В. А. Камаев, А. Г. Кравец // Информационно-аналитический вестник / Гос. акад. инноваций, Управление дополнит. проф.

образования. – М. – 2002. – Вып. 2(13). – С. 122–125.

7. *Френкель, М. Б.* Нечетко-множественный подход к сравнительной рейтинговой оценке акций / М. Б. Френкель, И. Ю. Квятковская // Изв. вузов Сев.-Кавк. региона. Техн. науки. – 2006. – Прил. № 7. – С. 111–113.

8. *Френкель, М. Б.* Моделирование процесса управления портфелем ценных бумаг в условиях неопределенности : монография / М. Б. Френкель, И. Ю. Квятковская. – Астрахань : Изд-во АГТУ, 2008. – 119 с.

УДК 004.77, 621.02:658.3.012.2

А. С. Гуртяков, А. Г. Кравец

ОРГАНИЗАЦИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: agk@gde.ru

В статье рассматривается вопрос организации дистанционного обучения. Описываются функции и основные недостатки систем дистанционного обучения, формулируются цели внедрения дистанционных составляющих в образовательный процесс, при достижении которых система образования перейдет на новый качественный уровень.

Ключевые слова: дистанционное обучение, система дистанционного обучения.

A. S. Gurtjakov, A. G. Kravets

DISTANCE LEARNING ORGANIZING

Volgograd State Technical University

The article considers the question of distance learning. Describes the function and the main shortcomings of distance education, are formulated for the integration of remote components of the educational process at which the educational system will move to a new level.

Keywords: distance learning, distance learning system.

Введение

В связи со значительными изменениями в жизни общества проблема совершенствования профессиональной подготовки приобретает особое значение.

На современном этапе развития общества новые возможности для образования открывает виртуализация сред образования. На сегодняшний день виртуализация образования – закономерный процесс, адекватный потребностям нарождающегося информационного общества. Он обусловлен стремительным развитием информационных систем, которые открывают новые дидактические и управленческие возможности для совершенствования системы образования, а также потребностями самой системы образования, связанной с обеспечением широкого слоя населения качественным, доступным, фундаментальным образованием.

Дистанционное обучение – целенаправленный, организованный процесс интерактивного взаимодействия обучающихся и обучающихся между собой и со средствами обучения, инва-

риантный к их расположению в пространстве и времени, который реализуется в специфической дидактической системе [1].

С дистанционным обучением связано появление новой организации образовательного процесса, основанного на самостоятельном обучении студента. Среда обучения характеризуется тем, что обучаемые отдалены от преподавателя во времени и в пространстве, но они имеют возможность в любой момент поддерживать диалог с помощью средств телекоммуникации.

Система дистанционного обучения (СДО) – это индивидуальное обучение в телекоммуникационной компьютерной образовательной среде, позволяющее, помимо обычных образовательных задач, достаточно эффективно решать и другие задачи (например: поиск информации в системах телекоммуникаций и связи, ее обработку, обобщение и анализ; умение ориентироваться в незнакомой ситуации и совершенствование своих знаний) [2].

Схема организации дистанционного обучения представлена на рисунке.



Схема организации дистанционного обучения

СДО обязательно должна осуществлять следующие функции [3]:

- предоставление обучаемым необходимого объема изучаемого материала с помощью средств информационных технологий;
- интерактивное взаимодействие между обучаемыми и обучающими в процессе обучения;
- предоставление обучаемым возможности самостоятельной работы по освоению нового учебного материала;
- периодическая оценка получаемых знаний и навыков обучаемых в процессе обучения.

Необходимость и возможность организации СДО обусловлена следующими факторами:

- ограничения по получению профессионального образования (в частности, ограниченная доступность, высокая стоимость обучения, ограничения по времени обучения и др.);
- ограничения по пропускной способности вузов, факультетов повышения квалификации и образовательных учреждений других типов;
- увеличение количества желающих получить профессиональное образование из-за повышения престижа образования и необходимости переподготовки специалистов в связи с внедрением на сетях современного телекоммуникационного оборудования;
- появление и развитие качественно новых средств информационных технологий и ярко выраженный процесс информатизации телекоммуникационных технологий.

Цели внедрения систем дистанционного образования

Персонализация учебного процесса. Процесс обучения синхронизирован между учащимися, но обучение студентов происходит по индивидуальному графику. При этом возможно изменение графика в соответствии с текущей занятостью учащегося и его скоростью восприятия материала.

Удешевление компонентов учебного процесса. Данная цель может быть достигнута, за счет не полиграфической, а электронной публикации учебных материалов, что намного уменьшает количество затрачиваемых ресурсов. Полиграфия характеризуется прямыми затратами, сравнительно малыми тиражами и коротким временем «жизни», что экономически не целесообразно.

Индивидуализация обучения. Подразумевает улучшение качества обучения за счет учета индивидуальных особенностей обучаемых (в частности, уровень начальной подготовки; предметная область; объем и глубина необходимого материала; скорость восприятия информации; эффективные формы подачи информации; мотивация к обучению; склонность к групповой работе).

Построение правильного административного ресурса. Сложившаяся со временем консервативная система является сложной, громоздкой и неудобной. При создании альтернативы на основе применения новых

компьютерных технологий повышается эффективность старой администрации, ставя ее в конкуренцию с новыми технологиями.

Увеличение качества обучения. Могут ли новые технологии обучения увеличить качество образования – спорный вопрос. Существует множество аргументов «за» и «против». Но, все же, внедрение новых принципов, технических средств и приемов, к числу которых относится и доступ к нетрадиционным учебным материалам посредством CD, DVD и Интернета, должно при правильном использовании приносить свои плоды.

Сохранение и тиражирование педагогического опыта знаний и методики преподавания. Уникальные авторские учебные курсы, носителями которых являются преподаватели, должны записываться и архивироваться, а не исчезать со временем в никуда.

Типовые проблемы дистанционного обучения

Проблемы дистанционного образования возникают при оценке эффективности дистанционного образования в сравнении с традиционным.

Проблемы дистанционного образования [6]:

Относительная гибкость методов дистанционного обучения. Если дистанционный студент выбирает определенный курс обучения, то у него практически нет возможности что-то изменить в нем или выбрать другие предметы (в условиях дневного обучения такая ситуация является результатом политики учебного заведения, тогда как негибкость учебного плана в дистанционных университетах можно объяснить только несовершенством методики преподавания).

Ограниченные возможности для

консультаций между студентами и педагогами. Даже если все условия для успешного сотрудничества созданы, возможность непосредственного общения с создателями курса остается редкой.

Высокая себестоимость учебных аудио- и видеоматериалов. Вследствие высокой стоимости качественных учебных пособий, дистанционные университеты работают по одним и тем же пособиям многие годы и стремятся привлечь как можно больше студентов. В конечном счете масштаб деятельности дистанционного учебного заведения определяет стоимость его структуры.

Зависимость от коммуникационной инфраструктуры (почты, телефонной связи, транспорта и т. д.), а также от некоторых производственных отраслей (типографий, телерадиовещательных компаний и т. д.), которые косвенно влияют на деятельность дистанционных учебных заведений (например, если хотя бы одна из отраслей не функционирует, эффективность и качество работы дистанционного вуза падают).

При внедрении систем дистанционного обучения приходится сталкиваться со множеством проблем, основные из которых [3]:

- необходимость в постоянном сопровождении курса;
- лень технического персонала;
- консерватизм преподавателей;
- противодействие тех, кому поручено внедрение дистанционного обучения.

Основные тенденции развития систем дистанционного обучения

Историю развития, описывающую все тенденции в современных технологиях электронного обучения можно отобразить в таблице:

Поколения систем E-learning

Тенденции	E-Learning 1.0	E-Learning 1.3	E-Learning 2.0
Основные компоненты	Курсы LMS – системы управления обучением. Средства разработки (ауторинга)	Связанные комплекты LCMS – системы управления учебным контентом. Средства быстрой разработки	Вики Социальные сети и общие закладки. Блоги Add-ins (надстраиваемые компоненты) Mash-ups (приложения, дающие доступ к нескольким БД)
Права	Сверху вниз, односторонне	Сверху вниз, совместная работа	Снизу вверх, инициатива учеников, взаимообучение
Время разработки	Долго	Быстро	Нет

Окончание таблицы

Тенденции	E-Learning 1.0	E-Learning 1.3	E-Learning 2.0
Размер контента	60 мин	15 мин	1 мин
Время доступа	До работы	В перерывах	Во время работы
Виртуальные встречи	Класс	По приглашению, в часы работы	Между собой, с экспертами
Процесс обучения	Все за один раз	В несколько заходов	Когда нужно
Доступ к контенту	LMS	Почта, интернет	Поиск, RSS
Инициатор	Инструктор	Учащийся	Сотрудник
Создатель контента	Дизайнер контента	Эксперт по тематике	Любой

E-Learning 1.0 – первое поколение обучения, проводимого через вэб.

E-Learning 1.3 – такое понятие используют для поколения e-learning, существующего последние несколько лет, при котором разработка происходит быстрее, а процесс обучения разбит на более мелкие куски.

E-Learning 2.0 – органичное совмещение работы и обучения в одном процессе, управляемом самим сотрудником.

В настоящее время внимание специалистов сосредоточено на сопоставлении и осмыслении в сравнении технологий Web 1.0 и 2.0 и, соответственно, E-Learning 1.0 и 2.0

E-Learning 1.0 и 2.0 – антиподы, между которыми невозможно абсолютное согласие. Одним из способов интеграции противоположностей может выступить появление между ними опосредующего звена. Таким звеном вполне способны выступать виртуальные классы (ВК). Для этого у них есть все необходимые качества:

- а) возможность синхронного и асинхронного общения;
- б) возможность осуществления групповой, межгрупповой и индивидуальной работы;
- в) возможность осуществления как директивного, так и недирективного общения.

Иными словами, в самой природе виртуального класса «предусмотрено» сосуществование характеристик, свойственных как E-Learning 1.0, так и E-Learning 2.0.

Занимая промежуточное положение между обучением на широкую аудиторию и групповым самообучением, ВК могут непротиворечиво интегрироваться как с LMS, так и с сервисами Web 2.0, делая первые менее директивными, а вторые – более управляемыми. В то время как непосредственная, без опосредующего звена, интеграция E-Learning 1.0 и 2.0 весьма проблематична [5].

Выводы

В настоящее время дистанционное обучение развивается стремительными темпами, вместе с ним развиваются и системы для его поддержки. Этим систем великое множество. Можно выделить такие системы, как NetOp School, Learnware и eLearning Server. Они представляют программный или программно-аппаратный комплекс, обладают широкими возможностями для управления дистанционным образованием. В частности, средствами этих систем можно организовать проведение презентаций.

Главным недостатком является высокая стоимость, сложность обслуживания и излишняя функциональность. Также немаловажным фактором является аппаратно- и платформозависимость; большинство систем работает только на платформе Windows.

Виртуализация образовательных сред предоставляет широкие, не осознаваемые в полной мере возможности для образования. Научно обоснованное использование элементов технологической системы виртуального дистанционного обучения может привести к улучшению, а возможно, даже к становлению принципиально новой системы образования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев, А. А. Дистанционное обучение: сущность, технология, организация / А. А. Андреев, В. И. Солдаткин. – М. : Изд-во МЭСИ, 1999. – 196 с.
2. Грачев, В. В. Оценка эффективности системы дистанционного обучения / В. В. Грачев, А. С. Минзов. – Режим доступа : http://www.e-joe.ru/sod/99/3_99/st176.html.
3. Исаев, А. В. Дистанционное образование: анализ информационных ресурсов / А. В. Исаев, А. Г. Кравец, А. Ш. Шахламджян // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6(66) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычис-

лительной техники и информатики в технических системах. Вып. 8). – С. 100–103.

4. *Карпер, Т.* Осознание E-Learning 2.0 [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : <http://www.distance-learning.ru/>

5. *Наумов, В.* Виртуальный класс – инструмент интеграции E-Learning 1.0 и 2.0? [Электронный ресурс] / В. Нау-

мов. – 2008. – Режим доступа : <http://psyfactor.org/lib/naumov8.htm>

6. *Джалишвили, З. О.* Организация системы дистанционного образования [Электронный ресурс] / З. О. Джалишвили. – 2006. – Режим доступа : http://www.elitarium.ru/2006/03/24/organizacija_sistemy_distancionnogo_obrazovaniija.html

УДК 004:37

Данг Х. Ф., В. А. Камаев, О. А. Шабалина

МЕТОД РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: hphuongdn@yahoo.com, cad@vstu.ru, o.a.shabalina@gmail.com

В статье проведен анализ существующих подходов к организации адаптивного тестирования, разработана классификация методов адаптивного тестирования. Представлен шаблонный алгоритм адаптивного тестирования и метод разработки алгоритмов на основе шаблона.

Ключевые слова: адаптивное тестирование, шаблонный алгоритм, метод разработки алгоритмов адаптивного тестирования.

Dang Hoai Phuong, V. A. Kamaev, O. A. Shabalina

ADAPTIVE TESTING ALGORITHMS DEVELOPMENT METHOD

Volgograd State Technical University

In this paper we analyze existing approaches to adaptive testing, describe a classification of adaptive testing methods. We suggest a pattern for development of adaptive testing algorithms and a method of the pattern implementation.

Keywords: adaptive testing, pattern algorithm, method of adaptive testing algorithms design.

Введение

Существуют два подхода к проверке и оценке знаний, умений и навыков студентов в учебном процессе. В случае, когда результаты обучения оценивает преподаватель, на оценку результатов может влиять его субъективная точка зрения. Для повышения объективности проверки и оценки результатов обучения используют тестирование. Под *тестированием* принято понимать экспериментальный метод, основанный на стандартизированных заданиях, которые позволяют измерить психофизиологические и личностные характеристики, а также знания, умения и навыки тестируемого [1]. Высокий уровень развития информационных технологий в образовании позволяет активно использовать их для организации и проведения контроля знаний обучающихся при тестировании. Тестирование может выступать не только как способ контроля и оценки знаний, но и как инструмент для текущей проработки учебного материала в качестве дополнения к электронному учебнику.

Для повышения эффективности и сокращения времени тестирования используют адаптивное тестирование (АТ). Последовательность заданий при АТ генерируется непосредственно в процессе тестирования в зависимости от дей-

ствий тестируемого. В [2; 4 и др.] описаны различные подходы к организации АТ. При реализации АТ последовательность и число контрольных заданий в тестировании различны для разных тестируемых. В настоящее время адаптивное тестирование реализуется в основном в виде различных алгоритмов компьютерного адаптивного тестирования.

1. Анализ подходов к организации адаптивного тестирования

В [1; 2; 11] рассмотрены отличительные особенности АТ по сравнению с классическими видами тестирования:

- каждый тестируемый получает свой собственный набор заданий, различающихся содержанием и длиной теста;
- каждый тестируемый оценивается индивидуально (на своем уровне).

Основные преимущества АТ по сравнению с классическими формами тестирования [2]:

- возможность оценить способности испытуемого более точно и с меньшими затратами;
- с точки зрения педагога, время используется более эффективно, поэтому уменьшается влияние на результаты дополнительных факторов (утомление, беспокойство, неаккуратность);

– прямая и непосредственная обратная связь студента и преподавателя.

Проблемы организации компьютерного тестирования обычно рассматриваются в двух аспектах – методическом и техническом. К методическим аспектам относятся:

- выбор заданий для проверки знаний, умений и навыков тестируемого;
- планирование проведения тестирования;
- определение требований к формированию набора вопросов и заданий для опроса и др.

К техническим аспектам относятся:

- формирование набора контрольных заданий на основе выбранного подхода;
- выбор и использование параметров тестирования;
- выбор алгоритма для оценки знаний тестируемых.

Таким образом, для построения АТ необходимо наличие методов проведения тестирования, а также методов оценки знаний, умений и навыков тестируемого по результатам выполнения им контрольных заданий.

2. Анализ методов АТ

Для организации АТ необходимо выбрать или разработать следующие компоненты:

- методы проведения тестирования;
- методы оценивания результатов тестирования;
- методы проверки результатов тестирования;
- правила окончания тестирования.

2.1. Методы проведения тестирования

Методы проведения тестирования различаются по уровню адаптации к индивидуальным характеристикам тестируемых и по способам выбора параметров процесса тестирования. Различают методы частичного и полного адаптивного тестирования [5].

Частичное адаптивное тестирование предполагает, что последовательность и число тестовых заданий различно для сильных, средних и слабых тестируемых. Выбор тестирующей системой числа и трудности заданий происходит с учетом ответов тестируемого и/или уровня подготовленности тестируемого и/или на основе специально разработанных сценариев проведения тестирования знаний. Для этого используются модели обучаемого. Частично адаптивные методы реализуют с использованием случайной выборки с учетом отдельных параметров модели обучаемого,

на основе ответов тестируемого, на основе модели учебного материала [3], с использованием модульно-рейтингового метода [6; 7; 8].

Полное адаптивное тестирование позволяет организовать индивидуальный контроль знаний каждого тестируемого. Полные адаптивные методы используют модели обучаемого, а также модели предметной области [9].

Методы проведения тестирования различаются и по способу построения траектории тестирования:

- с помощью математической теории педагогических измерений (Item Response Theory, IRT);
- с использованием нейросетевых методов;
- заданием переходов между состояниями.

Теория IRT основана на теории латентно-структурного анализа. Для построения траектории тестирования используется метод максимизации информации, при котором каждое последующее задание подбирается из банка тестов как наиболее информативное для оценивания уровня подготовленности данного тестируемого [4].

Для построения траекторий используют также *нейросетевые методы* (нейросетевые классификаторы и анализаторы). Так в работе [10] предложено использовать метод, основанный на итерационном процессе интерполяции функции трудности заданий. Идея метода заключается в том, что на основе анализа ответов тестируемого определяют трудности этих заданий для данного тестируемого. Затем подходящим образом интерполируют эту трудность на все множество тестовых заданий. На основе анализа поведения интерполирующей функции тестируемому предлагают задания, в которых эта функция наиболее «нерегулярна».

Построение траекторий *на основе заданных переходов* организуют перевод тестируемого в состояние, как можно более близкое к состоянию оптимальной образовательной траектории (индивидуальной для каждого тестируемого) с помощью алгоритмов управления. С «технологической» точки зрения в качестве алгоритмов управления применяют следующие методы [11]:

- методы управления на основе сетей Петри (одноуровневые и вложенные сети Петри) [11];
- методы управления на основе вероятностных моделей (байесовские сети [12] и цепи Маркова);
- методы управления на основе конечно-автоматной модели [11].

2.2. Методы оценивания результатов тестирования

Методы оценивания результатов тестирования используют для оценки текущего и финального результата тестирования. С точки зрения способа вычисления оценки методы оценивания делятся на три класса [5]:

- методы на основе количественных критериев;
- методы на основе вероятностных критериев;
- методы на основе классификационных критериев.

Методы на основе количественных критериев используют количественные шкалы, т. е. оценка в этом случае задается числом. В простейшем случае эта оценка может представлять собой сумму баллов, полученных тестируемым за правильные ответы на задания. В более сложных случаях при формировании оценки учитывают типы и характеристики заданий, а также характеристики выполнения этих заданий тестируемым [13] (время тестирования [14], число правильно выполненных заданий, число попыток выполнить задание и др.)

Методы на основе вероятностных критериев определяют вероятности правильных ответов тестируемого как функции уровня его подготовленности и параметров задания. Эти методы строятся на основе классической теории тестов (Classical Test Theory – СТТ модели) [15] и IRT-модели [4].

Методы на основе классификационных критериев предполагают отнесение тестируемого к одному из нескольких устойчивых классов с учетом совокупности признаков, определяющих данного тестируемого. Примерами являются методы на основе алгоритма вычисления оценок (метод АВО) [16], а также методы на основе нечетких множеств [17].

2.3. Методы проверки результатов тестирования

Методы проверки результатов тестирования различаются в зависимости от порядка прохождения заданий в тестировании. С этой точки зрения существуют два подхода к способу проверки результатов:

- адаптивное тестирование с постоянной адаптацией;
- адаптивное тестирование с блочной адаптацией.

Адаптивное тестирование с постоянной адаптацией (детерминированно ветвящаяся стратегия) подразумевает, что принятие реше-

ния об изменении порядка следования заданий производится на каждом шаге тестирования.

Адаптивное тестирование с блочной адаптацией (варьирующаяся ветвящаяся стратегия) – это тестирование, при котором принятие решения об изменении порядка следования заданий осуществляется после анализа результатов обработки некоторого специального блока заданий.

2.4. Правила окончания тестирования

При компьютерном адаптивном тестировании могут использоваться следующие правила окончания тестирования:

- требуемый уровень подготовленности тестируемого;
- количество заданий;
- время тестирования.

При использовании в качестве критерия *требуемого уровня подготовленности тестируемого* наиболее распространено правило, основанное на достижении требуемой точности измерений уровня подготовленности тестируемого. Также используют пределы уровня подготовленности тестируемого (минимальная и максимальная). Реже используется такие правила остановки, как *фиксированное время тестирования и фиксированное количество заданий*.

3. Разработка классификации АТ

В результате проведенного анализа выделен набор характеристик, определяющих способ организации АТ: цель тестирования, способы построения набора заданий тестирования, методы проведения тестирования, способы проверки тестирования, методы оценивания и правила окончания тестирования.

Цель тестирования является важным фактором для организации АТ, так как определяет содержание тестирования. Цели тестирования разделяются на тестирование знаний по отдельной теме или разделу и по всему курсу.

В зависимости от установленной цели тестирования необходимо подготовить тестирующие материалы, т. е. разработать *способ построения набора заданий* для проверки знаний, умнений и навыков тестируемых. Различают два подхода к способу построения набора заданий:

тематический подход – учебный курс состоит из нескольких разделов, между которыми существуют связи, и каждый раздел содержит свой набор заданий;

задачный подход – учебный курс является набором заданий с разными характеристиками (тип, сложность, и др.)

Методы проведения тестирования различают по способу выбора первого задания и по способу построения траектории тестирования.

Способ выбора первого задания определяет первое задание, которое может задаваться по умолчанию (задание среднего трудности) или выбираться индивидуально для каждого тестируемого (или группы тестируемых) на основе известной информации об этом тестируемом/мых.

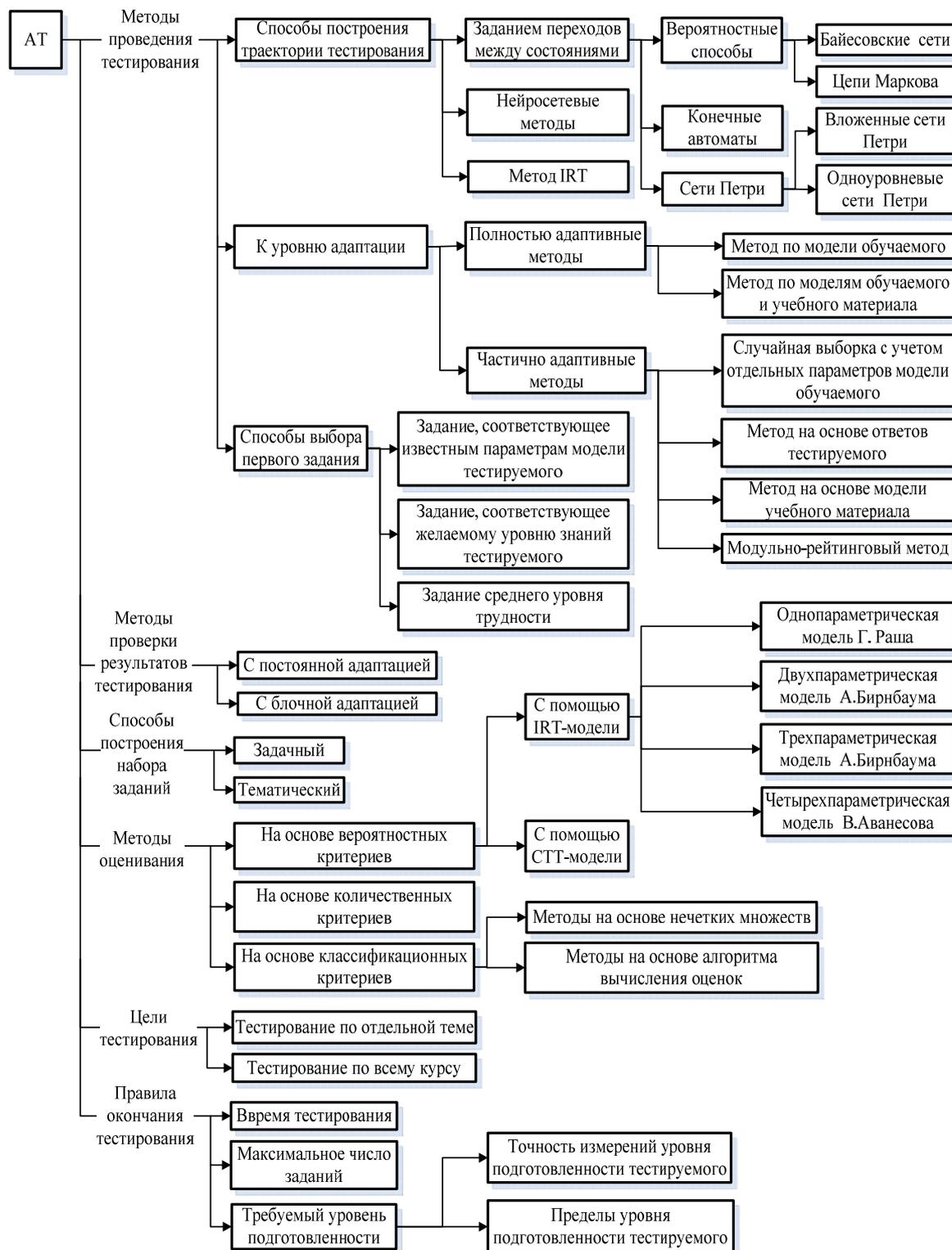


Рис. 1. Комбинированная классификация АТ

Способ построения траектории тестирования определяет способ формирования набора заданий на основе обратной связи с тестируемым. Такой способ позволяет организовать проверку знаний индивидуально для каждого тестируемого, поддерживая оптимальный для тестируемого уровень трудности выдаваемых заданий и формируя индивидуальные траектории тестирования.

Методы проверки результатов тестирования определяют порядок прохождения заданий в процессе тестирования.

Методы оценивания позволяют осуществлять проверку знаний тестируемых и определять уровни знаний, умений и навыков тестируемых по результатам выполнения контрольного задания тестирования, а также по окончании процесса тестирования.

Правила окончания тестирования определяют условия завершения процесса тестирования. В качестве условия окончания тестирования используют фиксированное время тести-

рования, фиксированное количество заданий и требуемый уровень подготовленности тестируемого. Правила окончания тестирования можно комбинировать и получать, таким образом, новые правила.

Рассмотренные характеристики используются как классификационные признаки при построении классификации АТ. Разработанная классификация является комбинированной, так как объединяет фасетный и иерархический принципы построения (рис. 1).

4. Метод разработки алгоритмов АТ на основе АТ шаблона

На основе анализа подходов к организации АТ разработан АТ шаблон (шаблонный алгоритм), определяющий основу процесса АТ и позволяющий разрабатывать алгоритмы АТ, различающиеся способами реализации действий. Для выбора способа реализации каждого действия предлагается использовать разработанную классификацию АТ.

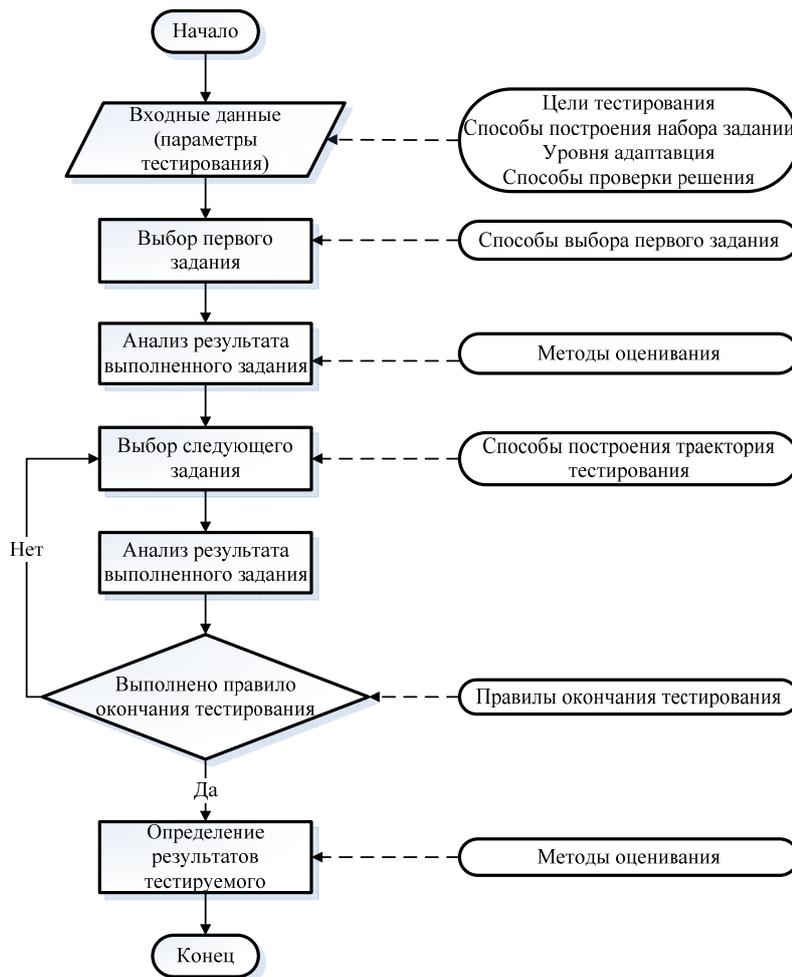


Рис. 2. АТ шаблон и категории классификации для выбора действий

Шаблонный алгоритм АТ и категории классификации, используемые для выбора действия, показаны на рис. 2.

Исходными данными метода являются параметры тестирования:

– параметры, характеризующие отдельное задание и его выполнение (характеристики задания; тип задания; время, отведенное для выполнения задания; время выполнения задания тестируемым);

– параметры, используемые для настройки алгоритма АТ (количество заданий, предусмотренных для тестирования; предельное время тестирования; метод проверки результатов тестирования, цели тестирования, характеристики тестируемого и др.).

Выбор способов реализации действий шаблонного алгоритма осуществляет разработчик алгоритма в зависимости от цели тестирования и условий его проведения.

Выводы

Предложенный метод разработки алгоритмов АТ на основе АТ шаблона и классификации АТ может быть использован разработчиками тестов для организации педагогического и профессионального тестирования.

В настоящее время авторы исследуют возможность автоматизации процесса разработки алгоритмов АТ и разработки автоматизированной системы генерации алгоритмов АТ, удовлетворяющих заданным требованиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Истоки экспериментальной психологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.effecton.ru/199.html>.
2. Elena C. Papanastasiou Computer-adaptive testing in science education / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://cblis.utc.sk/cblis-cd-old/2003/3.PartB/Papers/Science_Ed/Testing-Assessment/Papanastasiou.pdf.
3. Катаев, А. В. Открытая модель игрока для оценки знаний и навыков в компьютерных обучающих играх / А. В. Катаев, О. А. Шабалина // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 9 (82) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 8). – С. 79–85.
4. Lord F.M. Application of Item Response Theory to Practical Testing Problems. Hillsdale N-J. Lawrence Erlbaum Ass., Publ. 1980. – 266 pp.
5. Зайцева, Л. В. Модели и методы адаптивного контроля знаний / Л. В. Зайцева, Н. О. Прокофьева // Educational Technology & Society. – Nr.7(4), 2004 ISSN 1436-4522 (Международный электронный журнал) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ifets.ieee.org/russian/depository/v7_i4/html/1.htm. – С. 265–277.
6. Андреев, А. Б. Экспертная система анализа знаний «Эксперт-ТС» / А. Б. Андреев, А. В. Акимов, Ю. Е. Усачев // Proceedings. IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2002). 9–12 September 2002. Kazan, Tatrstan, Russia, 2002. – С. 97–101.
7. Артемов, А. Модульно-рейтинговая система / А. Артемов, Н. Павлова, Т. Сидорова // Высшее образование в России. – 1999. – № 4. – С. 121–125.
8. Galeev I., Sosnovsky S., Chepegin V. MONAP-II: the analysis of quality of the learning process model / I. Galeev, S. Sosnovsky, V. Chepegin // Proceedings. IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2002). 9–12 September 2002. Kazan, Tatrstan, Russia, 2002. – P. 116–120.
9. Грушецкий, С. В. Построение модели адаптивного тестирования с использованием элементов теории графов / С. В. Грушецкий, И. Д. Рудинский // Труды XIV Международной конференции-выставки ИТО-2004 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://sputnik.mto.ru/Docs_41/Mat_edu_conf/doc/4617.html.
10. Комлев, В. В. Экономико-математические модели, структурно-параметрическая оптимизация и управление качеством технологий обучения: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. экон. наук. Специальность 08.00.13 / В. В. Комлев. – Иваново, 2006. – 19 с.
11. Карпенко, А. П. Модельное обеспечение автоматизированных обучающих систем. Обзор / А. П. Карпенко // Наука и Образование. – 2011. – № 7.
12. Шабалина, О. А. Модель пользователя для изучения языков программирования в адаптивной обучающей системе / О. А. Шабалина // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – № 2. – С. 36–39.
13. Шкиль, А. С. Методика оценивания в компьютерной системе тестирования знаний / А. С. Шкиль, С. В. Чумаченко, С. В. Напрасник // Образование и виртуальность, 2002 : сб. науч. тр. 5-й Междунар. конф. – Харьков – Ялта : УАДО, 2003. – С. 340–345.
14. Лантев, В. В. Учет времени при оценивании результатов автоматизированного контроля / В. В. Лантев, В. И. Сербин // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (71) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 102–105.
15. Лаврухина, Н. А. Методы оценки качества тестов по результатам тестирования / Н. А. Лаврухина, Н. И. Абасова // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. – Иркутск : ИИТМ ИрГУПС, 2010. – Вып. 8. – С. 124–134.
16. Зайцева, Л. В. Разработка и применение автоматизированных обучающих систем на базе ЭВМ / Л. В. Зайцева, Л. П. Новицкий, В. А. Грибков ; под ред. Л. В. Ницецкого. – Рига : Зинатне, 1989. – 174 с.
17. Попов, Д. И. Способ оценки знаний в дистанционном обучении на основе нечетких отношений / Д. И. Попов // Дистанционное образование. – 2000. – № 6.

УДК 007.51; 004.85

*А. Л. Данченко, В. А. Ульшин***ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ФУНКЦИИ БИРНБАУМА
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ МОНИТОРИНГА
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ****Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля**

E-mail: danchenko.alla@fcs.snu.edu.ua

Предложен критерий качества образовательных ресурсов на основе информационной функции Бирнбаума. Выполнен анализ допустимых значений параметров информационной функции применительно к задаче автоматизированного мониторинга образовательных ресурсов обучающих систем.

Ключевые слова: мониторинг, качество, образовательный ресурс, информационная функция, экстремум.

*A. L. Danchenko, V. A. Ulshin***THE RESEARCHING OF THE INFORMATION FUNCTION
OF BIRNBAUM APPLIED TO THE TASK OF THE MONITORING
OF EDUCATIONAL RESOURCES OF TRAINING SYSTEMS****Volodymyr Dahl East Ukrainian national university**

The criterion of the quality of educational resources based on the information function of Birnbaum is proposed. The analysis of parameters of the criterion applied to the task of the automated monitoring of educational resources of learning systems is performed.

Keywords: monitoring, quality, education resource, information function, extremum.

Согласно [1–3], одним из основных условий обеспечения высокого уровня качества знаний обучаемых есть валидность (соответствие) образовательных ресурсов (ОР) уровню подготовленности обучаемых, поскольку как чрезмерно простые, так и чрезмерно сложные задания недостаточно эффективны. Обеспечение высокой валидности ОР в условиях массовости образования невозможно без организации автоматизированного мониторинга. Анализ научных исследований и технических решений в области автоматизированной экспертизы качества учебно-методического обеспечения обучающих систем на предмет оценки качества ОР с учетом показателя валидности целевой аудитории [5–6] показал отсутствие решений, позволяющих учитывать данный показатель в системах автоматизированного мониторинга ОР обучающих систем.

Целью данной статьи является разработка критерия соответствия ОР целевой аудитории обучаемых применительно к задаче автоматизированного мониторинга ОР.

Разработка критерия валидности

В данной работе будем рассматривать ОР как некий инструмент для достижения учебной цели в виде задания. *Задание* будем понимать как «педагогическую форму, нацеленную на усвоение... требуемого фрагмента подготовленности» согласно [1].

Комплекс ОР (КОР) будем понимать как конечное множество ОР, применяемых для обучения в рамках конкретной учебной дисциплины, подлежащих оценке и прошедших эмпирическую проверку в ходе учебного процесса. При этом не накладывается никаких ограничений на формат, объем и внутреннее содержание ОР. В качестве *целевой аудитории* будем понимать группу обучаемых, взаимодействующих в процессе обучения с КОР.

Математический аппарат Item Response Theory предоставляет возможность определения количества информации, обеспечиваемого как отдельным заданием, так и системой заданий, на основе информационной функции Бирнбаума. Будем полагать, что количество информации может быть интерпретировано как мера соответствия ОР целевой аудитории.

Модели и методы Item Response Theory достаточно хорошо исследованы для задач педагогического тестирования и подробно представлены в многочисленных научных работах таких авторов, как Бейкер, Карданов, Карпинский и др. [7–9; 1–3]. Однако, как показал анализ научных исследований и технических решений, представленных в [1–9], модели и методы данного математического аппарата в задачах автоматизированного мониторинга ОР не применялись; возможность интерпретации информационной функции Бирнбаума как меры соответствия ОР целевой аудитории не была исследована.

дована. Тем самым обусловлена необходимость дополнительных исследований данной модели с целью разработки критерия соответствия ОР целевой аудиторией.

Пусть мерой соответствия ОР целевой аудиторией есть информационная функция Бирнбаума, которая имеет вид:

$$I_j(\theta) = \frac{[p'_j(\theta)]^2}{p_j(\theta)q_j(\theta)}, \quad (1)$$

где θ – подготовленность обучаемого, $\theta \in [-\infty; +\infty]$; $p_j(\theta)$ – вероятность успеха выполнения j -го задания; $q_j(\theta)$ – вероятность неуспеха j -го задания, $q_j(\theta) = 1 - p_j(\theta)$.

При этом будем полагать, что модель вероятности соответствует вероятности успеха согласно дихотомической или политомической модели IRT в зависимости от типа ОР. Так как задания КОР обладают разной дифференцирующей способностью, информационная функция имеет вид:

$$I(\theta) = D^2 \cdot \sum_j \gamma_j^2 p_j(\theta) q_j(\theta), \quad (2)$$

где D – коэффициент масштабирования для приведения логистического распределения к нормальному, $D = 1,7$; γ_j – параметр дискриминации j -го задания.

Учитывая (2) показатель соответствия КОР целевой аудиторией имеет вид:

$$Q_I = \frac{\int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} I(\theta) d\theta}{\int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} I^3(\theta) d\theta}, \quad (3)$$

где $I^3(\theta)$ – эталонная информационная функция на заданном диапазоне; θ – подготовка обучаемых, $\theta \in [\theta_{\min}; \theta_{\max}]$.

Информационная функция должна содержать только один глобальный экстремум. Наличие локальных экстремумов свидетельствует об отсутствии ОР, соответствующих уровню подготовки обучаемых на данном интервале. Пусть E – непустое множество точек максимумов функции $I(\theta)$. Мощность $|E| = 1$, если информационная функция содержит единственный экстремум максимума на всем диапазоне изменения θ .

Тогда критерий качества имеет вид:

$$Q^* = \begin{cases} Q_I \geq \varphi \\ |E| = 1 \end{cases}, \quad (4)$$

где φ – заданное пороговое значение качества,

$\varphi \in [0; 1]$; $|E|$ – мощность множества экстремумов максимума функции $I(\theta)$.

Выполним анализ параметров информационной функции с целью определения значения эталонной информационной функции $I^3(\theta)$.

Исследование диапазонов изменения значений подготовленности обучаемых, трудности и дискриминации заданий

Теоретические значения трудности задания β , подготовленности обучаемого θ и параметра дискриминации γ изменяются в диапазоне от $-\infty$ до $+\infty$, однако для решения практических задач эффективнее применять ограниченные диапазоны значений. Так как при значениях разности $\theta_i - \beta_i \leq -5$, значения $p(\theta) \approx 0$, а при $\theta_i - \beta_i \geq 5$ $p(\theta) \approx 1$, то положим, что $\theta \in [-5; 5]$ и $\beta \in [-5; 5]$. При значениях $\beta \leq -3$, $\beta \in [-3; -5]$ диапазон изменения значений характеристической функции ограничен. Например, при $\beta = -5$ $p(\theta) \in [0,5; 1]$. Аналогичная ситуация возникает и при $\beta \geq 3$, $\beta \in [3; 5]$. При $\beta = 5$ $p(\theta) \in [0; 0,5]$. Изменение диапазонов значений характеристической функции задания $p(\theta)$ при значениях $\theta \in [-5; 5]$, $\beta \in [-5; -3] \cup [3; 5]$, $\gamma = 1$ представлены на рис. 1. Так как при $\beta < -3$ вероятность успеха является высокой на всем диапазоне подготовленности обучаемых, а при $\beta > 3$, наоборот низкой, то положим, что трудность ОР должна изменяться в диапазоне от -3 до 3 .

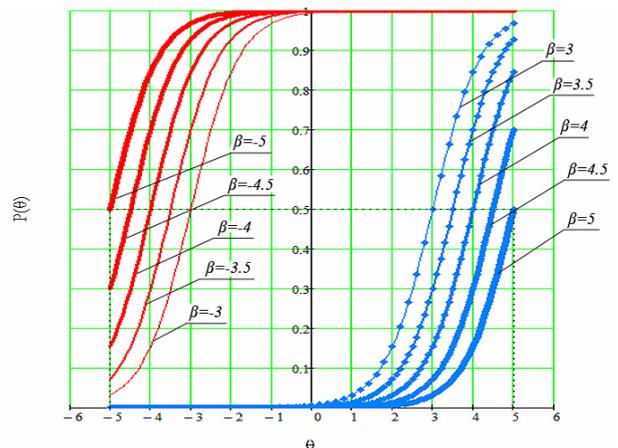


Рис. 1. Диапазоны изменения значений характеристической функции

Теоретические значения $\gamma \in [-\infty; +\infty]$, однако, согласно [1–3; 8], допустимыми являются задания с параметром дискриминации $\gamma \in [0,5; 2,8]$. Тогда будем полагать что $\gamma_{\min} = -2,8$, $\gamma_{\max} = 2,8$, а при вычислении значений параметра дискриминации будем применять:

$$\gamma = \begin{cases} \gamma_{\min}, \gamma \leq \gamma_{\min} \\ \gamma, \gamma_{\min} < \gamma < \gamma_{\max} \\ \gamma_{\max}, \gamma \geq \gamma_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, изменение фактических значений подготовленности θ и трудности β ограничим диапазоном значений от -5 до 5 , т. е. $\theta \in [-5; 5]$ и $\beta \in [-5; 5]$, а диапазон целевых (эталонных) значений ограничим диапазоном от -3 до 3 , т. е. $\theta^3 \in [-3; 3]$ и $\beta^3 \in [-3; 3]$. Также введем ограничения для диапазона изменения γ : согласно [7] изменение фактических значений γ ограничим диапазоном изменения значений от -2.8 до 2.8 , целевые значения параметра дискриминации ограничим диапазоном от $[0.5$ до $2.8]$, т. е. $\gamma \in [-2.8; 2.8]$, $\gamma^3 \in [0.5; -2.8]$. Тогда наиболее информативным является задание, для которого $p = q = 0.5$. Учитывая (5), максимальное значение информационной функции:

$$I^3(\theta)_{\max} = D^2 \cdot \gamma_{\max}^2 \cdot p(\theta) \cdot q(\theta) = 2.89 \cdot 7.84 \cdot 0.5 \cdot 0.5 = 5.6644. \quad (6)$$

Исследование информационной функции на наличие локальных экстремумов максимума

На рис. 2 представлена информационная функция на диапазоне подготовленности $\theta \in [-1.5; 1.5]$, которая содержит локальный максимум при $\theta \approx -1$. Окрестность провала информационной функции определяется интервалом $\theta \in [-1; -0.6]$.

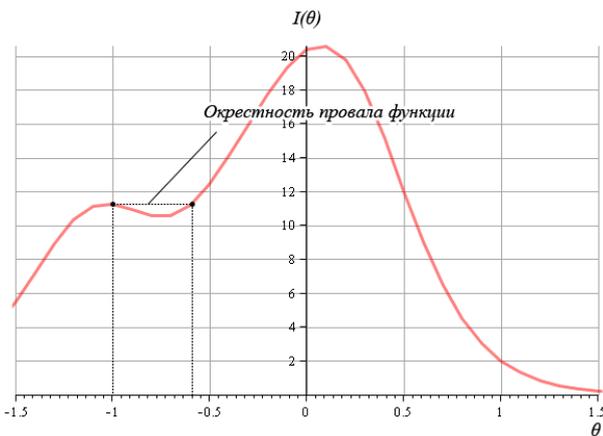


Рис. 2. Информационная функция с окрестностью провала

Информационная функция должна содержать только один глобальный экстремум максимума. Наличие локальных экстремумов свидетельствует об отсутствии ОР, соответствующих уровню подготовки обучаемых на данном интервале. Устранение локальных максимумов путем переработки существующих или добав-

ления новых ОР является наиболее эффективным способом повышения качества КОР по показателю соответствия целевой аудиторией.

Выполним постановку задачи автоматического поиска окрестностей провалов функции для обеспечения формирования рекомендаций по совершенствованию качества ОР.

Пусть задан диапазон $[a; b]$ такой, что $\theta \in [a; b]$, а $E = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k\}$ – непустое упорядоченное множество точек максимумов функции $I(\theta)$ такое, что $\theta_{n+1} > \theta_n$, причем одна из точек обязательно является глобальным экстремумом функции и равна θ^{\max} .

Пусть θ_n есть точка локального максимума, а значение функции в ней – локальный максимум функции $I(\theta)$, если существует δ -окрестность $U_\delta(\theta_n)$ такая, что в любой точке $\theta \in U_\delta(\theta_n)$ $I(\theta) \leq I(\theta_n)$, причем $\theta \in [a; b]$ и $\theta_n \in [a; b]$, $\theta_n \neq \theta^{\max}$. Тогда окрестность провала информационной функции есть окрестность $U_\delta^*(\theta^*)$ такая, что в любой точке $\theta \in U_\delta^*(\theta^*)$ $\theta_n \leq \theta < \theta_{n+1}$, $I(\theta) \leq I(\theta_n)$, $\theta_n \neq \theta^{\max}$. Необходимым условием наличия локального экстремума является наличие стационарных точек, в которых производная $I'(\theta)$ обращается в нуль. Найдем производную функции $I(\theta)$ j -го задания:

$$I'_j(\theta) = \left(\frac{D^2 \gamma_j^2 e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)}}{(1 + e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)})^2} \right)' = \frac{D^3 \gamma_j^3 e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)}}{(1 + e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)})^2} - \frac{2 \cdot D^3 \gamma_j^3 e^{2D\gamma_j(\theta-\beta_j)}}{(1 + e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)})^3}, \quad (7)$$

где D, γ_j, β_j – константы.

Для нахождения стационарных точек решим уравнение:

$$\frac{D^3 \gamma_j^3 e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)}}{(1 + e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)})^2} - \frac{2 \cdot D^3 \gamma_j^3 e^{2D\gamma_j(\theta-\beta_j)}}{(1 + e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)})^3} = 0.$$

В результате получим $\theta = \beta_j$. Таким образом, максимум информационной функции задания достигается в случаях, когда подготовленность обучаемых равна трудности задания. Учитывая (2), (7), производная первого порядка информационной функции КОР:

$$I'(\theta) = \sum_{j=0}^n \left(\frac{D^3 \gamma_j^3 e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)}}{(1 + e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)})^2} - \frac{2 \cdot D^3 \gamma_j^3 e^{2D\gamma_j(\theta-\beta_j)}}{(1 + e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)})^3} \right), \quad (8)$$

где n – количество заданий КОР.

Тогда для нахождения стационарных точек необходимо решить уравнение относительно независимой переменной θ :

$$\sum_{j=0}^n \left(\frac{D^3 \gamma_j^3 e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)}}{(1+e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)})^2} - \frac{2 \cdot D^3 \gamma_j^3 e^{2D\gamma_j(\theta-\beta_j)}}{(1+e^{D\gamma_j(\theta-\beta_j)})^3} \right) = 0. \quad (9)$$

Для нахождения корней уравнения (9) целесообразно применять численные методы, такие как метод дихотомии или метод Ньютона – Рафсона. Однако условия применимости данных методов требуют, чтобы исследуемая функция была унимодальной и дважды дифференцируемой на интервале $\theta \in [a; b]$. $I(\theta)$ не удовлетворяет требованию унимодальности, однако является дважды дифференцируемой. Определим интервалы, на которых $I'(\theta)$ обращается в нуль. Так как согласно [3–4; 7] трудность заданий должна быть распределена на шкале логитов с шагом 0.5–1 логит, то определим шаг разбиения исходного интервала как

$0.5/2 = 0.25$ логит. Таким образом, если $I(\theta)$ меняет знак на исследуемом интервале и $I''(\theta) < 0$, то данный интервал содержит локальный или глобальный максимум функции $I(\theta)$.

Результаты численного эксперимента

Численный эксперимент проводился на базе кафедры «Системная инженерия» Восточноукраинского национального университета в рамках курса «Основы дискретной математики». Значение показателя $Q_I = 0.1210$ при $\theta_{\min} = -3$, $\theta_{\max} = 3$, $n = 0.25$, $I^3(\theta) = 5.6644$. Мощность множества $E = 3$ на интервале $\theta \in [-3; 3]$. Информационная функция курса, ее первая и вторая производные представлены на рис. 3. Результаты поиска окрестностей локальных максимумов функции на интервале $\theta \in [-5; 5]$ представлены в таблице. По результатам мониторинга данного курса рекомендуется включение в состав курса ОР с трудностью $\beta \in [-2.63; -1.26]$ и $\beta \in [-1.02; -0.6]$.

Результаты поиска максимумов функции $I(\theta)$

№ п.п.	Интервал поиска экстремума		Тип экстремума	Значение θ в точке экстремума	Интервал провала функции $I(\theta)$	
	a_i	b_i			a_j	b_j
1	-5	-4,75	Локальный	-4,92	-4,92	-3,47
2	-2,75	-2,5	Локальный	-2,63	-2,63	-1,26
3	-1,25	-1,00	Локальный	-1,02	-1,02	-0,6
4	0	0,25	Глобальный	0,08	—	—

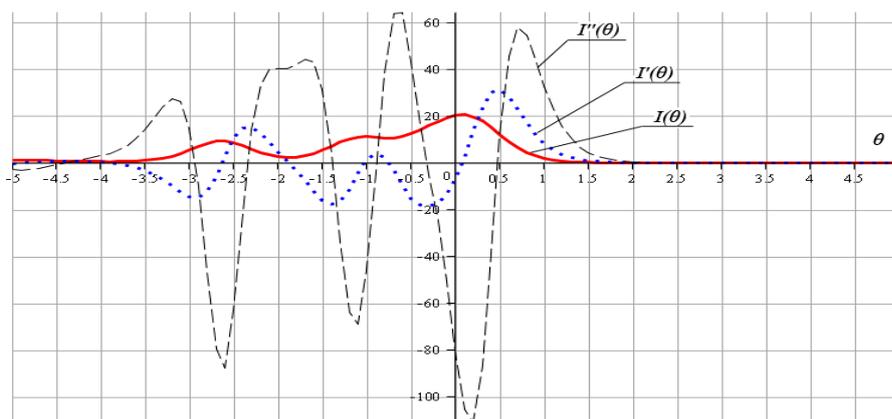


Рис. 3. Информационная функция курса «Основы дискретной математики»

Выводы

Предложен критерий качества ОР на основе информационной функции Бирнбаума, который позволяет получить значение соответствия ОР целевой аудиторией. Выполнен анализ допусти-

мых значений параметров критерия применительно к задаче автоматизированного мониторинга образовательных ресурсов обучающих систем. Показана возможность автоматического анализа геометрического образа информаци-

онной функции для поиска окрестностей провала функции. В дальнейшем планируется применение результатов данного исследования при разработке комплексного критерия качества ОР системы автоматизированного мониторинга ОР обучающих систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аванесов, В. С. Основы теории педагогических заданий / В. С. Аванесов // Педагогические измерения. – 2006. – № 2. – С. 26–62.
2. Ефремова, Н. Ф. Тестовый контроль в образовании : Университетская книга / Н. Ф. Ефремова. – М.: Логос, 2007. – 363 с.
3. Ким, В. С. Тестирование учебных достижений : монография / В. С. Ким. – Уссурийск : Изд-во УГПИ, 2007. – С. 214.
4. Сычев О. А. Система автоматизированного тестирования программ с графическим интерфейсом пользователя в рамках учебного процесса / О. А. Сычев, А. С. Кирюшкин // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6(54) /

ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в вычислительных системах). – С. 109–111.

5. Воробкалов, П. Н. Оценка качества электронных обучающих систем. / П. Н. Воробкалов, В. А. Камаев // Управление большими системами : сб. тр. – М.: ИПУ РАН, 2009. – Вып. 24. – С. 99–112.

6. Боцула, М. П. О проблеме экспертизы качества материалов дистанционных курсов / М. П. Боцула, И. А. Моргунов // Наукові праці ВНТУ, 2008. – № 4. – С. 1–6.

7. Baker, F. B. Item response theory: parameter estimation techniques / F. B. Baker, S. H. Kim. – New York : Marcel Dekker, 2004. – P. 495. – ISBN-0-8247-5825-0.

8. Карданова, Е. Ю. О некоторых свойствах характеристической и информационной функций политомического тестового задания / Е. Ю. Карданова, Р. С. Карданов // Вестник Новгородского государственного университета. – 2010. – № 55. – С. 19–24.

9. Карпинский, В. Б. Математическое и программное обеспечение оценки достоверности результатов массового тестирования : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 / В. Б. Карпинский; Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2009. – С. 21.

УДК 658.5 : 658.58 : 65.011.4

А. В. Кизим

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ТРМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: kizim@mail.ru

В статье проанализированы основные полезные эффекты, цели, задачи и характеристики методологии бережливого производства «всеобщее производительное обслуживание» (Total Productive Maintenance, TPM) как перспективной методологии технического обслуживания и ремонта (ТОиР), в которой задействованы операторы оборудования. Приводятся полезные эффекты от применения TPM. Сформулированы методы реализации системы TPM и алгоритм ее внедрения в организациях.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт; ТОиР; оборудование; основные производственные фонды; методики ТОиР; качество; технологии бережливого производства; всеобщее производительное обслуживание; методология TPM; цели и эффекты TPM; алгоритм внедрения TPM.

А. V. Kizim

APPLICATION OF TPM METHODOLOGY FOR VENTURES EFFICIENCY RISING

Volgograd State Technical University

Main goals, objectives, methodology and general characteristics of the Total Productive Maintenance (TPM) as the most promising LEAN methodology for maintenance and repair (MRO) were analyzed. The TPM is involving facility operators into MRO process. Beneficial effects on the TPM application were provided. Methods of TPM implementation and the algorithm of TPM installation in organization were formulated.

Keywords: repair and maintenance service; MRO; facility; assets; MRO methodic; LEAN; TPM methodology; TPM aims and effects; TPM implementation algorithm.

Введение

В связи с мировым экономическим кризисом в последнее время остро стоит вопрос сокращения производственных издержек и повышения производительности наших предприятий и организаций. Поэтому использование существующих и создание новых методик по-

вышения эффективности деятельности является актуальной задачей. При этом получить значительный эффект можно, принимая на вооружение не только существующие методики повышения производительности труда, но также и результаты анализа опыта их применения в различных отраслях промышленности и сервиса.

В производственной сфере важной частью процесса организации выпуска продукции является обеспечение эксплуатации оборудования различного назначения. Под *обеспечением эксплуатации оборудования* подразумевается не только выполнение производственных операций, но еще техническое обслуживание и ремонт оборудования (ТОиР) [1; 2]. За последние 100 лет организация ТОиР претерпела ряд эволюционных изменений. От реактивного ремонта оборудования по факту его отказов был осуществлен переход к предупредительному обслуживанию (Preventive maintenance), которое можно разделить на следующие основные виды:

- плановое обслуживание (Planned maintenance), примером которого являются советские отраслевые регламентные методики системы ТОиР;
- обслуживание по состоянию (Condition-based maintenance);
- предупредительное обслуживание на основе прогнозных данных (Predictive maintenance).

Осуществление планового регламентного обслуживания после распада СССР стало невыгодным в силу различных причин (усложнения оборудования, сокращения затрат на ТОиР и др.). На смену отраслевым методикам планового ТОиР пришли методы рациональной организации обслуживания, в частности, «обслуживание, основанное на надежности» (Reliability Centered Maintenance, RCM) и другие, характеризующиеся комплексностью применения различных способов организации в зависимости от обслуживаемого объекта.

Для осуществления ТОиР на предприятиях обычно создаются службы главного механика (или инженера) или привлекаются внешние подрядные организации. Как правило, непосредственную эксплуатацию оборудования выполняют операторы, которые с ним работают, а обслуживание и ремонт – специализированные службы. При этом может возникать, по сути, парадоксальная ситуация, когда операторы не отвечают за работоспособность своего оборудования. О конфликте интересов и целей различных субъектов процесса ТОиР информация имеется в работе [3] и др.

Различные способы мотивации, а также технологии бережливого производства (в частности, самой сложной и многоплановой из систем – ТРМ, Total Productive Maintenance), позволяют заинтересовать оператора в обеспече-

нии максимально эффективной работы вверенного ему оборудования. Более того, согласно определению в [4], методология ТРМ – это обслуживание оборудования, позволяющее обеспечить его наивысшую эффективность на протяжении всего жизненного цикла с участием всего персонала.

Цели и эффекты внедрения технологии ТРМ

Специалисты ассоциации «Японский институт производительного обслуживания» (JPM), являющейся производителем методической литературы по ТРМ, выделяют в [5] следующие основные положения системы ТРМ:

- 1) отдельные улучшения для повышения производительности оборудования и инженерных систем;
- 2) самостоятельное обслуживание оборудования операторами;
- 3) плановое техническое обслуживание оборудования;
- 4) обучение и подготовка операторов и ремонтников;
- 5) управление разработкой и внедрением нового оборудования и нового продукта;
- 6) система обслуживания, ориентированная на качество;
- 7) охрана труда и окружающей среды;
- 8) система повышения эффективности в управленческих и обслуживающих подразделениях.

В силу того, что на пространстве, ранее называвшимся «СССР» и «Российская империя», исторически складывалось общинное хозяйство, наш менталитет во многом схож с японским. Однако, чтобы «включить» его в сознание современных рабочих или специалистов для того, чтобы система ТРМ начала реально работать в наших предприятиях и организациях, необходимо проводить сложный комплекс работ по внедрению технологии ТРМ, учитывающий особенности, сложившиеся в сознании людей уже в новейшей истории, после распада СССР.

Рассмотрим характеристики и особенности методологии ТРМ. Согласно [5], цель ТРМ – создание такого предприятия, в принципы деятельности которого было бы заложено стремление к предельной эффективности производственной системы (общей эффективности). Согласно [6], цель ТРМ – создание предприятия, которое постоянно стремится к предельному и комплексному повышению эффективности про-

изводственной системы. Согласно [7], система ТРМ позволяет обеспечить наивысшую эффективность работы оборудования. В [6] отмечается, что целью ТРМ является создание предприятия, которое постоянно стремится к предельному и комплексному повышению эффективности производственной системы. Можно сделать вывод, что исследователи сходятся во мнении, что методология ТРМ призвана повысить эффективность производственной системы в целом.

Идеологи ТРМ из ЛРМ также считают в [5], что целями ТРМ второго уровня, помимо прочего, являются:

- создание механизма предотвращения любых потерь (например, ноль травматизма, ноль брака, ноль аварий и т. д.), объектом которого стал бы весь жизненный цикл производственной системы;
- внедрение системы производительного обслуживания в первую очередь на производстве, а затем – в службе развития, коммерческой службе, административных подразделениях;
- вовлечение всего персонала компаний – от членов советов директоров до рядовых сотрудников;
- достижение «ноля потерь» командной работой малых групп всего предприятия.

Применительно к производству, в качестве определения ТРМ, по сути являющегося его задачей, в [5] приводятся следующие тезисы:

- 1) стремление к самым высоким показателям эффективности работы оборудования;
- 2) формирование системы производительного технического обслуживания для всего жизненного цикла оборудования;
- 3) развертывание общего производительного обслуживания оборудования в службах планирования, разработки нового оборудования, главного инженера, производственных подразделениях и других службах;
- 4) в развертывании системы принимает участие весь персонал компаний – от руководства до рядовых сотрудников;
- 5) главное мотивационное средство – командная работа на низовых организационно-технологических участках, т. е. работа малых групп.

В работе [6] отмечено, что достижение цели внедрения ТРМ – предельной и комплексной эффективности производственной системы – связывают с получением максимально возможного результата (в отношении объема произ-

водства; качества продукции; себестоимости; сроков поставок; безопасности рабочих мест и инициативы персонала) при минимальном использовании ресурсов (человеческих, материальных, финансовых). Качественное улучшение состояния предприятия достигается при использовании ТРМ за счет согласованного изменения двух факторов. Первый – профессиональное развитие человека: операторы должны уметь самостоятельно производить ежедневное обслуживание оборудования; «работники поддержания» (механики и др.) – непрерывно поддерживать работоспособность высокотехнологичного оборудования; инженеры – проектировать оборудование, не требующее поддержания и ремонта. Второй – усовершенствование оборудования: повышение эффективности использования имеющегося оборудования за счет его непрерывного улучшения и проектирование нового оборудования с учетом полного жизненного цикла с последующим выводом его в кратчайшие сроки на полную проектную мощность. Таким образом, применение методологии ТРМ должно позволить повысить эффективность производственной системы за счет полной ликвидации всех потерь, препятствующих повышению эффективности как работы человека, так и использования оборудования.

В работе [8] отмечены следующие преимущества применения предприятиями принципов управления качеством:

- высокий уровень морали у всех служащих, признание общих моральных и этических ценностей и руководящих принципов;
- высшие менеджеры и служащие – одна семья, одна команда, форма работы – групповая;
- новый стиль менеджмента, основанный на гуманистической философии, обеспечивающий высокую мотивацию и вовлеченность персонала;
- подход, базирующийся на знаниях, научном методе;
- ориентация на долговременный успех, видение будущего и правильное целеполагание;
- высокое качество продукции и услуг, непрерывное улучшение качества продукции, услуг, процессов, работы;
- качество как цель № 1, ведущая к снижению затрат, сокращению сроков, повышению производительности и, в итоге, – к победе над конкурентами;
- персонал как ценность № 1: его знания, творчество, приверженность интересам фирмы

стоят больше, чем стоимость недвижимости и техники;

- непрерывное, пожизненное образование всего персонала;
- процессы циркулирования точной и достоверной информации, охватывающей всю компанию;
- системное, процессное и статистическое мышление менеджеров и служащих.

Подобные эффекты можно отнести и к предприятиям, применяющим методологию ТРМ. Согласно [9; 10; 11 и 12; 16], применение ТРМ также позволяет:

- повысить время работы оборудования;
- снизить затраты на ремонт оборудования и закупку запчастей;
- сократить затраты времени на переналадку лимитирующего оборудования;
- уменьшить аварийность и производственный травматизм.

В качестве ярких примеров достигнутых реальных эффектов в результате внедрения системы бережливого производства в компаниях за рубежом и в РФ по различным отраслям, согласно [11 и др.], можно указать следующие:

- сокращение производственного цикла в 4–9 раз (например, в авиационной промышленности с 16 месяцев до 16 недель; в приборостроении с 9 дней до 1 дня);
- экономия даже для одной компании свыше 1 млрд. долларов ежегодно (металлургическая компания Alcoa);
- рост производительности на 40 % (Ярославский шинный завод);
- рост производительности ремонта на 50 % (нефтедобывающее оборудование);
- высвобождение ¼ производственных площадей (судостроение).

Внедрение ТРМ в организациях

Каковы же условия применения и алгоритм действий для внедрения методологии ТРМ в организации? Главным базисом построения ТРМ как программы действий в [14] считается следующий набор условий:

- операторы должны хорошо знать стандарт работы оборудования и проверять его работу каждую смену или каждый день;
- персонал технического обслуживания должен тесно сотрудничать с операторами, чтобы иметь возможность обучить их тому, что следует искать и к чему стоит прислушиваться, чтобы обнаружить потенциальные проблемы на ранней стадии;

- планирование времени остановки оборудования для профилактического обслуживания, смазки, очистки и общего осмотра является основной, которую должно обеспечить руководство.

Конкретными методами достижения целей ТРМ могут служить:

- 1) формализация и визуализация целей и задач, сведений о текущей производительности и состоянии оборудования;
- 2) раннее обнаружение неисправностей, быстрое реагирование на возникновение проблем и поддержание нормального состояния оборудования для предотвращения поломок;
- 3) обучение и вовлечение персонала в процесс внедрения ТРМ с разъяснением сотрудникам важности и выгод от внедрения ТРМ не только для компании в целом, но и для каждого сотрудника;
- 4) организация взаимодействия операторов и ремонтников;
- 5) применение методов повышения степени эффективности производства.

Для повышения степени эффективности использования оборудования предприятия могут применяться математические методы оптимизации. В работе [6] отмечено, что в одном из подходов для оценки эффективности производственной системы в ТРМ используются не локальные показатели, а показатель общей эффективности, отражающий все виды потерь. В мировой практике применяется коэффициент полной эффективности оборудования (Overall Equipment Effectiveness, OEE) [13], который в общем случае является произведением коэффициента готовности оборудования на показатели производительности и качества.

В работе [7] рассмотрен метод оптимизации работы оборудования, где в качестве целевой функции предложен комплексный критерий на основе свертки частных показателей эффективности:

$$Q = \prod_{i=1}^n q_i^{\alpha_i},$$

где q_i – относительные единичные показатели эффективности работы оборудования; n – количество показателей эффективности работы оборудования; α – коэффициенты весомости единичных показателей эффективности работы оборудования; i – порядковый номер показателя эффективности работы оборудования.

Целевая функция должна учитывать основные показатели эффективности работы оборудования (например, коэффициент готовности, производительность в единицу времени, интегральную оценку качества выпускаемой продукции, себестоимость изготовления, затраты на организацию эксплуатации и ремонта и др.) и приоритет каждого единичного показателя.

На основе исследований [14, 15, 17 и др.] можно предложить следующий алгоритм внедрения ТРМ:

1. Подготовительная стадия:

- а) обоснование внедрения ТРМ, постановка четких целей, первоначальное обучение;
- б) формирование организационной структуры продвижения ТРМ;
- в) формирование генерального плана внедрения ТРМ.

2. Организационная стадия:

- а) организация циркуляции информации по отказам оборудования;
- б) рационализация планирования мероприятий ремонтов и обслуживания оборудования и анализа их проведения;
- в) установление системы улучшений с участием каждого работника организации в обслуживании и эксплуатации оборудования, а также автономного обслуживания оборудования операторами с помощью «семи шагов».

3. Институциональная (стандартизационная) стадия:

- а) стандартизация и регламентация всех этапов обслуживания оборудования: уборки, приема смены, мелкого ремонта, стандарт ТО на основе применения статистического технического обслуживания и т. п.;
- б) визуализация процедур (этапы ТО, чек-листы графиков обслуживания оборудования);
- в) обучение разработанным стандартам и их корректировка;
- г) мониторинг, анализ и совершенствование процесса выполнения стандартов, процедур.

Несмотря на явные преимущества от внедрения методологии ТРМ, многие исследователи отмечают, что ее внедрение требует затрат [6; 9; 10]. Мало поддерживать идеи ТРМ на словах, необходимо осваивать новые методы соблюдать дисциплину. Методология ТРМ не предполагает быстрых побед. Ее освоение требует усилий и времени и коренного изменения психологии работников предприятия. Однако, как показывает опыт организаций, внедривших у себя эту систему, подобные результаты и со-

ставляют сегодня одно из главных конкурентных преимуществ.

Заключение

Методология ТРМ – это система принципов обслуживания оборудования предприятий и организаций, позволяющая обеспечить его высшую эффективность на протяжении всего жизненного цикла с участием всего персонала, которая дает возможность получить множество полезных эффектов от внедрения, что ведет к снижению затрат, повышению прибыли и конкурентоспособности. Полученный многими предприятиями и коллективами опыт внедрения ТРМ дает результаты в виде повышения не только эффективности работы оборудования, но и производства в целом, а также позволяет производить дальнейшее совершенствование практики внедрения методологии. В качестве основного эффекта от внедрения системы ТРМ можно отметить самоорганизацию производства с целью повышения эффективности его функционирования (навыков и состава персонала, системы оборудования и вспомогательных систем и др.), вплоть до самовоспроизведения своих частей (необходимого оборудования внутри самого производства).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кизим, А. В. Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования // 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. 118–121.
2. Кизим, А. В. Постановка и решение задач автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (Доклады ТУСУРа). – 2009. – № 2 (декабрь). – С. 131–135.
3. Программно-информационная поддержка технического обслуживания и ремонта оборудования с учетом интересов субъектов процесса / А. В. Кизим, Е. В. Чиков, В. Ю. Мельник, В. А. Камаев // Информатизация и связь. – 2011. – № 3. – С. 57–59.
4. Федина, С. Ю. Внедрение системы ТРМ: продолжение следует / С. Ю. Федина, А. Ю. Бурашников // Методы менеджмента качества. – 2006. – № 6. – С. 12–16.
5. ТРМ в простом и доступном изложении / пер. с япон. А. Н. Стерляжникова ; под науч. ред. В. Е. Растимешина, Т. М. Куприяновой. – М.: Стандарты и качество, 2008. – 128 с.
6. Пшенников, В. В. Качество через ТРМ, или О предельной эффективности промышленного оборудования / В. В. Пшенников // Методы менеджмента качества. – 2001. – № 10. – С. 10–15.
7. Момот, А. И. Эффективность использования оборудования – новый подход / А. И. Момот, П. И. Самойлов // Економічний вісник Донбасу № 2 (24), 2011. – С. 194–198.

8. *Кривошеков, В. Е.* Концепция всеобщего качества как национальная идея формирования государственной морской политики и первооснова инноваций в судоходство Украины / В. Е. Кривошеков // Сб. докладов 2-й Всеукраинской научно-практической конференции «Судоходство Украины – инновации флота, портов и грузоперевозок» (30 мая – 01 июня 2001 г., г. Феодосия). – Николаев : ЮАПК, 2001. – С. 109–121.

9. *Мирвис, Ф.* В пустыню и обратно: история самого грандиозного корпоративного тренинга : пер. с англ. / Ф. Мирвис, К. Аяс, Д. Рот. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 267 с.

10. *Вейдер, М.* Инструменты бережливого производства : Мини-руководство по внедрению методик бережливого производства : пер. с англ. / М. Вейдер. – 2-е изд. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 125 с.

11. Результаты бережливого производства в различных отраслях. – [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим

доступа : [www.orgprom.ru].

12. *Баева, Л. С.* Модернизация производства как решающий фактор повышения конкурентоспособности продукции / Л. С. Баева, Т. Ю. Пашеева // Вестник МГТУ. – 2010. – Т. 13, № 1. – С. 46–50.

13. The Fast Guide to OEE™. Vorne Industries Inc. – 2008. – Режим доступа : [www.oee.com].

14. *Ягофаров, А.* «Ноль поломок оборудования» — достижима ли цель? / А. Ягофаров. – 2012. – Режим доступа : <http://www.leanforum.ru/library/r5/171.html>.

15. Всеобщее обслуживание оборудования [Электронный [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.kaizen-tmz.ru/faq/index.php?SECTION_ID=80.

16. *Кеннеди, Р.* Взаимодействие 5S и TPM в системе TPM / Р. Кеннеди, Л. Мацца // Методы менеджмента качества. – 2004. – № 8. – С. 9–15.

17. MOSMS™ Practice Guide // Japan institute of Plant Maintenance, 2011.

УДК: 51-77

М. В. Коротеев

РАЗРАБОТКА АРИФМЕТИКИ НЕЧЕТКИХ ЧИСЕЛ В ОБЩЕЙ ФОРМЕ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: sairos@bk.ru

В данной статье описываются несколько видов нечетких арифметик. Рассматривается их применимость к нечетким числам в произвольной и обобщенно-трапециевидной форме. Описанные методы вычисления результатов арифметических операций могут использоваться для математического моделирования экономических процессов и для создания информационной системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова: нечеткая арифметика, нечеткое число, обобщенно-трапециевидная форма, интервалы, функции принадлежности, арифметические операции, t-норма.

М. V. Koroteev

ARITHMETICS OF FUZZY NUMBERS IN COMMON FORM DEVELOPMENT

Volgograd State Technical University

In this article few kinds of fuzzy arithmetic are described. Appliance for common shaped fuzzy numbers and for fuzzy numbers in extended-trapezoidal form is given. Described methods of calculating arithmetic operations' results can be used in mathematical modeling of economical processes and for building the decision making informational systems.

Keywords: fuzzy arithmetic, fuzzy number, extended-trapezoidal form, intervals, membership function, arithmetical operations, t-norm.

Введение

Создание экономико-математических моделей с использованием аппарата нечеткой логики часто требует вычисления результатов арифметических операций над нечеткими множествами самого различного вида. Нечеткая арифметика не является наиболее разработанной областью нечеткой логики, так как в области нечеткого моделирования эксперты отдают предпочтение механизмам нечеткого логического вывода. Тем не менее, актуальным является создание предметно-ориентированной нечеткой арифметики для использования в сфере экономико-математического моделирования. Та-

кая арифметика должна помимо аналитического выражения иметь простую и удобную численную адаптацию для применения в автоматизированных информационных системах, так как прикладное использование нечеткой логики немислимо без пакета прикладных программ.

В этой области (экономико-математическое моделирование) неопределенность носит фундаментальный характер и не может быть устранена статистическими методами или усовершенствованием измерительных приборов, либо методики наблюдений без потери информации. Именно поэтому экономико-математическое нечеткое моделирование предполагается первой

предметной областью для применения результатов, полученных авторами данной работы.

Целью работы является описание арифметики нечетких чисел в самой общей форме, допускающей алгоритмизацию для создания информационно-математической системы, применительно к области экономико-математического моделирования.

Вопросами арифметических операций над нечеткими числами занимается ряд ученых, основные результаты исследований которых изложены в [2; 6–7; 11]. Однако в настоящее время представленные арифметики работают на заранее определенных формах функций принадлежности операндов (в основном, разработаны арифметики треугольных чисел).

Постановка проблемы

Нечеткая арифметика [6] часто рассматривается как обобщение традиционной арифметики на поле нечетких чисел. Она позволяет использовать четкие и нечеткие числа и интервалы наравне, на основе общих правил вычисления арифметических операций. Очевидно, что при переходе от нечетких к обычным четким числам данные правила должны сводиться к традиционной арифметике.

Наиболее общим видом нечетких чисел [6], применимых в экономических расчетах, являются нечеткие числа в обобщенно-трапециевидной форме, то есть с куполообразной функцией принадлежности и невырожденным в точку интервалом толерантности. Далее в данной статье будем рассматривать именно такой вид нечетких чисел.

Даны два нечетких числа в обобщенно-трапециевидной форме:

$$A = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, f_l, f_r\}, \tag{1}$$

$$B = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, \varphi_l, \varphi_r\}.$$

Требуется: определить число C, представляющее собой результат бинарной арифметической операции

$$\mu_C = \mu_A \circ \mu_B;$$

$$\mu_C \in [\min(x_1 \circ y_1, x_1 \circ y_2, x_2 \circ y_1, x_2 \circ y_2), \max(x_1 \circ y_1, x_1 \circ y_2, x_2 \circ y_1, x_2 \circ y_2)]; \tag{4}$$

$$\mu_C(x + y) = \mu_A(x) + \mu_B(y) \quad | \quad \forall x \in [x_1, x_2], \forall y \in [y_1, y_2];$$

или в общем виде:

$$\mu_C(x + y) = f_t(x, y) \quad | \quad \forall x \in [x_1, x_2], \forall y \in [y_1, y_2], \tag{5}$$

где $f_t(x, y)$ – заранее определенная t -норма.

Достоинством этого метода является универ-

$$C = A \circ B = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, \psi_l, \psi_r\}. \tag{2}$$

Исходной посылкой для наших рассуждений служит интервальная арифметика, в основе которой лежат правила действий над интервалами.

Для построения адекватного алгоритма сформулируем требования описываемой нечеткой арифметики:

1) результирующая функция должна быть нормирована по высоте, и равномерной на участке определения и на отрезке значений [0; 1];

2) разрабатываемый алгоритм должен быть универсальным, то есть применим к операндам с произвольными функциями скатов;

3) результирующая функция должна адекватно отражать падение принадлежности элементов области определения при удалении от интервала толерантности и учитывать форму функций скатов обоих операндов;

4) функция скатов не должна испытывать влияние функций противоположных скатов операндов (то есть при вычислении функции левого ската не должны учитываться функции правых скатов операндов);

5) должны выполняться традиционные для арифметических операций законы: ассоциативность, дистрибутивность и т. д.;

6) необязательное условие: определяемые арифметические операции должны быть «обратимыми», то есть справедливость условия

$$A + B = C \Rightarrow C - A = B \tag{3}$$

должна сохраняться после перехода к нечетким числам.

Арифметика в общей форме

Для выполнения арифметических операций над интервалами нечетких чисел воспользуемся понятием t -нормы. Допустим, нам даны две функции принадлежности произвольного вида, определенные на двух несовпадающих интервалах: $\mu_A \in [x_1, x_2]$; $\mu_B \in [y_1, y_2]$. Тогда:

универсальность по отношению к виду функций принадлежности и простота программной реализации численным методом (здесь и далее приведены фрагменты программной реализации нечеткой арифметики на языке Python):

```

def add(self, other):
    x1=self.begin
    x2=self.end
    y1=other.begin
    y2=other.end
    C=Subset(min(x1+y1, x1+y2, x2+y1, x2+y2), max(x1+y1, x1+y2, x2+y1, x2+y2))
    Av=[]
    for i in self.traversal(): Av.append(i)
    Bv=[]
    for i in other.traversal(): Bv.append(i)
    for (x, y) in zip(Av, Bv):
        C.Values[x+y]=min(A.value(x), B.value(y))

```

Результат сложения двух нечетких чисел приведен на рис. 1.

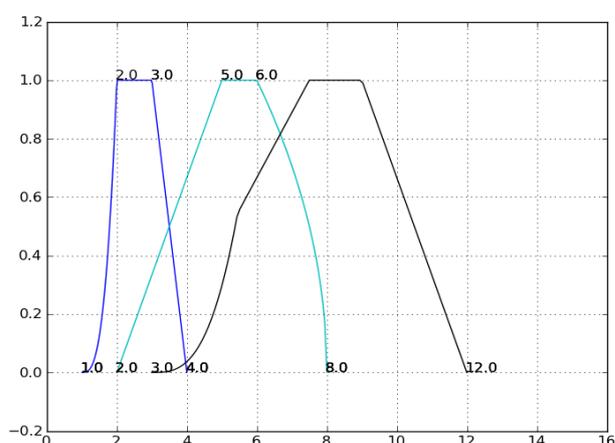


Рис. 1. Сложение двух нечетких чисел методом t -нормы

Недостатком данного метода вычисления результатов арифметических операций является потеря скатами числа-результата своего изначального экономического смысла вследствие отсутствия контроля над границами интервала толерантности данного нечеткого числа. Как следует из рисунка, в общем виде функция принадлежности результата перестает быть гладкой и для придания ей экономической интерпретации требуется дополнительный анализ.

Арифметика обобщенно-трапециевидных чисел

Исследуя нечеткие числа в обобщенно-трапециевидной форме, можно учесть параметры интервалов числа при вычислении арифметических действий. Применим вышеописанные правила работы с интервалами к границам интервалов нечеткого числа в данной форме. Границы интервалов (реперные точки) результи-

рующего числа находятся следующим способом:

$$\begin{aligned}
 z_1 &= \min(x_1 \circ y_1, x_1 \circ y_6, x_6 \circ y_1, x_6 \circ y_6); \\
 z_2 &= \min(x_2 \circ y_2, x_2 \circ y_5, x_5 \circ y_2, x_5 \circ y_5); \\
 z_3 &= \min(x_3 \circ y_3, x_3 \circ y_4, x_4 \circ y_3, x_4 \circ y_4); \\
 z_4 &= \max(x_3 \circ y_3, x_3 \circ y_4, x_4 \circ y_3, x_4 \circ y_4); \\
 z_5 &= \max(x_2 \circ y_2, x_2 \circ y_5, x_5 \circ y_2, x_5 \circ y_5); \\
 z_6 &= \max(x_1 \circ y_1, x_1 \circ y_6, x_6 \circ y_1, x_6 \circ y_6).
 \end{aligned} \tag{6}$$

Заметим, что при таком алгоритме выходной вектор точек области определения нечеткого числа будет заведомо упорядочен.

Функции принадлежности скатов вычисляются на основе функций соответствующих скатов операндов путем применения к ним выбранной t -нормы:

$$\begin{aligned}
 \psi_l(x) &= f_l(x) \cdot \varphi_l(x) \quad |\forall x \in [z_2, z_3]; \\
 \psi_r(x) &= f_r(x) \cdot \varphi_r(x) \quad |\forall x \in [z_4, z_5].
 \end{aligned} \tag{7}$$

Таким образом, все элементы результирующего нечеткого числа найдены, и его функция принадлежности принимает вид:

$$\mu_z(x) = \begin{cases} 0 & |\forall x \in [z_1, z_2] \\ f_l(x) \cdot \varphi_l(x) & |\forall x \in [z_2, z_3] \\ 1 & |\forall x \in [z_3, z_4] \\ f_r(x) \cdot \varphi_r(x) & |\forall x \in [z_4, z_5] \\ 0 & |\forall x \in [z_5, z_6] \end{cases} \tag{8}$$

Этот метод лучше всего алгоритмизировать, используя функциональный стиль с помощью лямбда-функций:

```
def add(self, other):
    z1=min(x1+y1, x1+y4, x4+y1, x4+y4)
    z2=min(x2+y2, x2+y3, x3+y2, x3+y3)
    z3=max(x2+y2, x2+y3, x3+y2, x3+y3)
    z4=max(x1+y1, x1+y4, x4+y1, x4+y4)
    zl=lambda x, y: lambda z: xl(x, y)(z)*yl(x, y)(z)
    zr=lambda x, y: lambda z: xr(x, y)(z)*yr(x, y)(z)
    return Trap_ext(begin=z1, begin_tol=z2, end_tol=z3, end=z4, left=zl, right=zr)
```

Результат сложения двух нечетких чисел данным методом приведен на рис. 2.

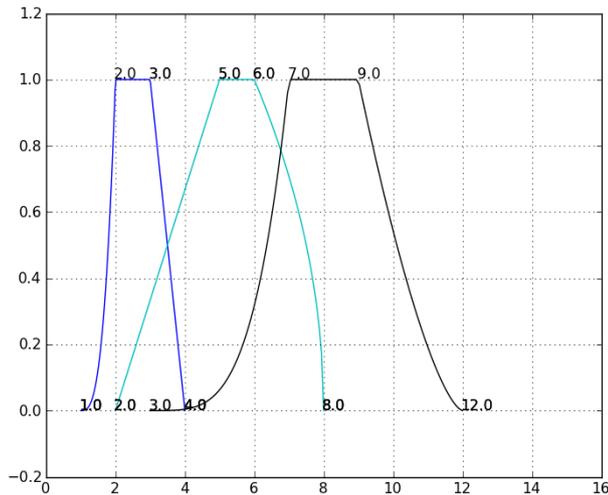


Рис. 2. Сложение обобщенно-трапециевидных нечетких чисел

Как следует из алгоритма, границы интервала толерантности, равно как и уравнение функций скатов становится известно в ходе вычисления результата. Это позволяет проинтерпретировать функцию принадлежности результирующего нечеткого числа для придания ей экономического смысла, как степень убывания принадлежности вычисляемого параметра данному числовому значению по мере удаления от интервала толерантности.

Арифметика на основе операций с интервалами

α -уровнем нечеткого числа называется интервал с границами в точках, в которых значение функции принадлежности этого числа равно α . Нечеткую арифметику можно построить на основе интервальной арифметики путем разложения каждого операнда на сумму составляющих его α -уровней. Так как каждая функция ската является монотонной, она пересекает α -уровень в одной определенной точке для всех $\alpha \in [0; 1]$. Для двух операндов и результата:

$$\begin{aligned} f_l(A_1) = \alpha; \quad \wp_l(B_1) = \alpha; \quad \varphi_l(C_1) = \alpha; \\ f_r(A_2) = \alpha; \quad \wp_r(B_2) = \alpha; \quad \varphi_r(C_2) = \alpha. \end{aligned} \tag{9}$$

Исходя из правил нечеткой арифметики (здесь, и далее, в качестве примера рассмотрено сложение двух нечетких чисел):

$$A_1 + B_1 = C_1; \quad A_2 + B_2 = C_2; \tag{10}$$

$$C_1 = \varphi_l^{-1}(\alpha) = f_l^{-1}(\alpha) + \wp_l^{-1}(\alpha); \tag{11}$$

$$C_2 = \varphi_r^{-1}(\alpha) = f_r^{-1}(\alpha) + \wp_r^{-1}(\alpha).$$

Иными словами, для каждого ската должно выполняться условие

$$\mu_C(\mu_A^{-1}(\alpha) + \mu_B^{-1}(\alpha)) = \alpha \quad |\forall \alpha \in [0; 1]. \tag{12}$$

На основании этих правил можно аналитически вычислить функцию принадлежности результата арифметического действия.

Основной проблемой численной программной реализации данного метода является представление функции, обратной функции принадлежности на дискретном конечном множестве чисел из интервала $[0; 1]$, одинаковом для обоих операндов.

При выполнении арифметических действий над гомогенными нечеткими числами (числами с однопипными функциями скатов) проблема вывода результирующей функции скатов довольно тривиальна: достаточно произвести нужное арифметическое действие над параметрами функций скатов операндов.

Сумма двух линейных скатов:

$$x = \alpha \cdot b_A + a_A + \alpha \cdot b_B + a_B = \alpha(b_A + b_B) + a_A + a_B$$

$$\alpha = \mu_C(x) = \frac{x - a_A - a_B}{b_A + b_B}. \tag{13}$$

Сумма двух гауссовых скатов:

$$\begin{aligned} x &= \sqrt{-\sigma_A \ln \alpha} + m_A + \sqrt{-\sigma_B \ln \alpha} + m_B \\ \ln \alpha &= -\frac{(x - (m_A + m_B))^2}{-2\sqrt{\sigma_A \sigma_B} + \sigma_A + \sigma_B} = \frac{(x - (m_A + m_B))^2}{(\sqrt{\sigma_A} + \sqrt{\sigma_B})^2} \\ \mu_C(x) &= e^{-\frac{(x - (m_A + m_B))^2}{(\sqrt{\sigma_A} + \sqrt{\sigma_B})^2}}. \end{aligned} \tag{14}$$

Основная сложность кроется в случае, когда операндами являются числа с разнотипными

функциями скатов (скажем, линейный и гауссовый скат). Данную арифметику также нельзя назвать универсальной, так как алгоритм вычисления результата меняется в зависимости от формы функции принадлежности операндов. Поэтому об универсальной экономической интерпретации скатов числа-результата в общем виде говорить не приходится.

Заключение

Исследуя описанные выше методы вычисления результатов арифметических операций над нечеткими числами, можно сделать вывод о том, что оптимальным для использования в информационных системах экономико-математического моделирования является второй вид арифметики обобщенно-трапециевидных чисел. Первый метод не обеспечивает нормализацию и соблюдение границ интервала толерантности по правилам интервальной арифметики. Третий метод, так же как и первый, не учитывает экономическую интерпретацию интервалов трапециевидного числа; кроме того, он плохо поддается алгоритмизации и использования численным методом. Они оба основаны на анализе функции принадлежности целиком, а значит, не обеспечивают выполнение условий, приведенных в начале статьи.

Искомая нечеткая арифметика должна быть замкнутой на поле обобщенно-трапециевидных чисел, что справедливо только для второго метода. Это устраняет большинство затруднений, возникающих при использовании нечеткой арифметики в общей форме, связанных с необходимостью учитывать произвольность формы функций принадлежности. К тому же, созданная на основе данного метода программная система показывает его применимость и адекватность задачам экономико-математического моделирования.

Описанная в данной статье арифметика нечетких чисел в обобщенно-трапециевидной форме является новой, разработанной лично автором. Практическое применение этой арифметики нечетких чисел лежит в области создания информационной системы нечеткого моделирования, использующей арифметические вычисления, в которых операндами могут выступать нечеткие числа (в том числе вместе с обычными четкими). Примером предметной области, в которой исходные данные для моделирования и/или анализа целесообразно оценивать нечетко вследствие неопределенности информации, является экономическое моделиро-

вание в целом и анализ инвестиционных проектов – в частности.

Автором данной работы была создана программная система, реализующая описанную в статье арифметику. Программа представляет собой библиотеку классов, предоставляющую пользователю функциональность нечетких чисел в обобщенно-трапециевидной и ряде частных форм. Программа поддерживает только нормализованные нечеткие подмножества. Помимо этого, в нее встроены четырнадцать видов скатов, использующих два вида параметризации, что позволяет гибко и адаптивно строить нечеткие числа на лету. Благодаря архитектуре программы, она предоставляет возможность использовать нечеткие числа наряду (и вместе) с обычными четкими, не приводя те к нечеткому виду. Программа может применяться во всех видах экономико-математических расчетов, использующих нечеткую логику.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sugeno, M. A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling. / M. Sugeno, T. Yasukawa // IEEE Transactions on fuzzy systems. Vol. 1, No. 1. 1993.
2. Dubois, D. Fuzzy Numbers: An Overview / Dubois, D., Prade, H. // Analysis of Fuzzy Information 1:3-39, CRC Press, BocaRaton, 1987.
3. Mitaim, S. The shape of fuzzy sets in adaptive function approximation / S. Mitaim, B. Kosko // IEEE Transactions on fuzzy systems. Vol. 9, No. 4. 2001.
4. Zadeh, L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. // Information sciences 8, pp 199–249. 1975.
5. Zadeh, L. A. Fuzzy sets. // Information and control, 8(3), pp. 338–353. 1965.
6. Шмова, С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/1.php>
7. Яхьяева, Г. Э. Основы теории нечетких множеств [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : <http://www.intuit.ru/department/ds/fuzzysets/1/>
8. Применение нечетких темпоральных высказываний для описания движений при эмоциональных реакциях / А. В. Заболева-Зотова, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев, А. С. Бобков // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 3(76) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 60–64.
9. Голубятникова, М. В. Применение алгоритма выбора оптимального технологического режима при нечетко выраженных экспертных оценках / М. В. Голубятникова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11(71) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 125–129.

10. Санжапов, Б. Х. Обоснование реализации программы социально-экономического региона в условиях нечеткой информации / Б. Х. Санжапов, И. С. Калина // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 8(64) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные

проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 115–118.

11. Гареев Т. Ф. Формирование комплексной оценки инноваций на основе нечетко-интервальных описаний: дис. ... канд. эконом. наук / Т. Ф. Гареев. – Казань, 2009. – 268 с.

УДК 519.2

Н. В. Кулагин

МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Газпром трансгаз Нижний Новгород

E-mail: kulaginnv@mail.ru

В работе рассматриваются методы построения информационных систем на распределенной базе данных. Предлагаются методы управления передачами данных на распределенные серверы.

Ключевые слова: базы данных, информационные системы, клиент серверные технологии, математическая модель, теория массового обслуживания.

N. V. Kulagin

MATHEMATICAL MODEL OF A DISTRIBUTED DATABASE FOR ENTERPRISE SYSTEMS

Gazprom transgaz Nizhny Novgorod

In this paper the methods of information systems in a distributed database are considered. New methods of managing data transmission between distributed servers are introduced.

Keywords: databases, information system, client an server technology, mathematical model, queeneing theory.

Современные коммерческие системы управления базами данных поддерживают распределенные базы данных. Это логически единая база данных (БД), части которой располагаются в нескольких узлах сети. В этих узлах могут находиться разнотипные компьютеры, которые имеют различные операционные системы. Узлы могут быть территориально распределены, но пользователи имеют одинаковый доступ ко всей информации, хранящейся в БД. Преимущество распределенной системы заключается в снижении затрат на передачу данных по сети, а распределение большой централизованной БД на небольшие кусочки повышает эффективность обработки данных. Однако имеется ряд трудностей. Опишем их. Достаточно часто нелегко обеспечить непротиворечивость данных, распределенных по узлам, а также выбрать нужную СУБД. Распределенная СУБД должна обладать определенными характеристиками. Она должна обеспечивать непротиворечивость данных, обеспечивать возможность разделять таблицу по горизонтали и по вертикали и распределять полученные части по узлам сети, а также объединять их в таблицы. Кроме того, должно быть реализовано независимое дублирование данных, при выполнении сложных операций необходимо учитывать ряд

особенностей узлов и на основании этого выбирать оптимальный узел для операций, модификации основной таблицы автоматически должны модифицироваться в зависящие таблицы. Распределенная СУБД обязана иметь локальную автономию, непрерывную обработку, независимость от места хранения данных, глобальную обработку взаимоблокировок и конфликтов, которые возникают при одновременном доступе к данным нескольких пользователей, выполнять обработку распределенных транзакций, а также должна обеспечиваться независимость работы системы от типа компьютера и операционных систем. Однако известные распределенные системы могут создавать сетевые заторы при передаче большого объема информации. Проанализировав функционирование приложений, можно выбрать оптимальное решение этой проблемы.

В данной работе предлагается подход, избавляющий от необходимости детальной разработки структуры связей и взаимодействия функциональных элементов. Будем рассматривать прикладные программы как некоторый объект [3], который может находиться в конечном множестве состояний, определяемых значениями ее переменных, полей баз данных, а также состоянием внешней среды (пульта опера-

тора, линии связи, устройства связи с объектами и т. д.). Переход из одного состояния в другое возможен в результате выполнения какого-либо ФЭ или изменений данных с клиентских мест, или репликаций данных. Будем также считать, что каждый ФЭ выполняется только в том случае, когда база данных переходит в некоторое множество заранее определенных состояний, т. е. действия ФЭ являются реакцией ИС на переход в эти состояния.

Для описания структуры приложения любого уровня сложности было рассмотрено несколько типов элементов: набора функциональных элементов (ФЭ) и анализатора состояний. Классом особых объектов являлся элемент признак состояния (ПС), который принимает одно из двух значений: «установлен» или «сброшен». Работа данной системы может быть описана по показательному закону с параметром μ , т. е.

$$f(t) = \mu e^{-\mu t}, \quad t > 0. \quad (1)$$

Из этого следует, что поток обслуживания – простейший.

Обозначим данную систему через S , а ее состояния через S_0 – «установлен»; S_1 – «сброшен». Из состояния S_0 в S_1 систему, очевидно, переводит «поток заявок» с интенсивностью λ ; из S_0 в S_1 — «поток обслуживания» с интенсивностью μ .

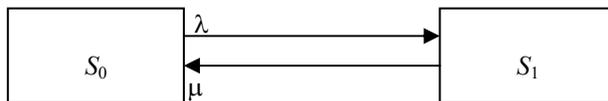


Рис. 1. Структурная схема системы S

Пусть вероятности состояний S_0 и S_1 соответственно равны $p_0(t)$ и $p_1(t)$. Очевидно, для любого момента t справедливо равенство

$$p_0(t) + p_1(t) = 1. \quad (2)$$

Составим дифференциальные уравнения Колмогорова для вероятностей состояний согласно правилу, указанному выше:

$$\begin{cases} \frac{dp_0}{dt} = -\lambda p_0 + \mu p_1 \\ \frac{dp_1}{dt} = -\mu p_1 + \lambda p_0 \end{cases} \quad (3)$$

Из двух уравнений (3) одно является лишним, так как p_0 и p_1 связаны соотношением (2). Потому отбросим второе уравнение, а в первое подставим вместо p_1 выражение $(1-p_0)$ и придем к равенству

$$\frac{dp_0}{dt} = -\lambda p_0 + \mu(1-p_0)$$

или

$$\frac{dp_0}{dt} = -(\lambda + \mu)p_0 + \mu. \quad (4)$$

Поскольку в начальный момент канал свободен, уравнение следует решать при начальных условиях:

$$p_0(0) = 1, \quad p_1(0) = 0. \quad (5)$$

Решение задачи Коши (2), (3) имеет вид:

$$p_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}$$

$$p_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} (1 - e^{-(\lambda + \mu)t}).$$

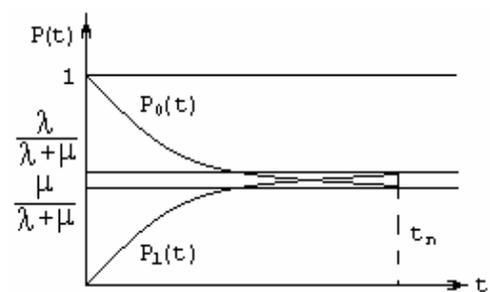


Рис. 2. Графики функций $p_0(t)$ и $p_1(t)$

Количественная оценка характеристик сервера, основанная на установившихся (предельных) вероятностях состояний, справедлива только лишь для моментов времени $t > t_n$, где t_n – время переходного процесса, начиная с которого вероятности состояний будут отличаться от своих предельных значений на достаточно малую величину. Это время t_n можно легко оценить с помощью показателя экспоненты, равного $(\lambda + \mu)t$.

Предлагаемый подход позволяет создавать сложные программные системы, динамически изменяющие свой код.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулагина, Л. В. Разработка инструментария для создания многосерверной системы ввода и обработки данных / Л. В. Кулагина, Н. В. Кулагин // Труды СВМО. – 2006. – № 2. – С. 233–235.
2. Кулагина, Л. В. Некоторые вопросы построения и программной реализации корпоративных информационных систем / Л. В. Кулагина, Н. В. Кулагин // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2009. – № 1(37). – С. 95–98.
3. Кулагин, Н. В. Математическая модель системы обработки информации и управления систем / Н. В. Кулагин, Т. Ф. Мамедова // Средневолжское математическое

общество. Препринт № 37. – Саранск, 2001.

4. Кулагина, Л. В. Механизм управления информационной системой на многосерверной платформе систем / Л. В. Кулагина, Н. В. Кулагин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 1(72). – С. 134–137.

5. Кулагина, Л. В. Управление взаимодействием функ-

циональных элементов в системах, построенных на распределенных базах данных систем / Л. В. Кулагина, Н. В. Кулагин // Труды СВМО. – 2009. – Т. 11. – № 1. – С. 252–256.

6. Ивченко, Г. И. Теория массового обслуживания / Г. И. Ивченко, В. А. Каштанов, И. Н. Коваленко. – М.: Высш. шк., 1982. – 237 с.

УДК 519.2

Л. В. Кулагина

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЧЕТНЫХ ФОРМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Нижегородский государственный технический университет

им. Р. Е. Алексеева

E-mail: kulaginal@mail.ru

В работе рассматриваются методы построения информационных систем на распределенной базе данных. Предлагается математическое описание процессов создания и передачи данных на распределенные серверы.

Ключевые слова: базы данных, информационные системы, клиент-серверные технологии, математическая модель, теория массового обслуживания.

L. V. Kulagina

REPORT CREATION MODEL OF A DISTRIBUTED DATABASE FOR ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS

The R. E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University

In this paper the methods of information systems in a distributed database are considered. The mathematical notation of the data creation and transmission to distributed servers processes is suggested.

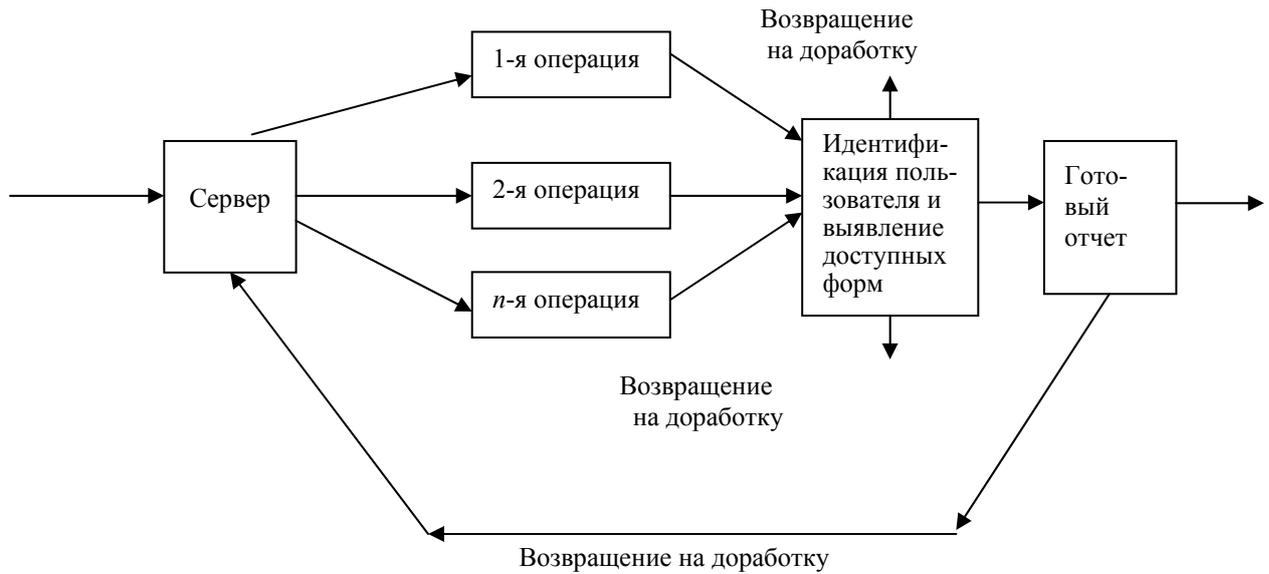
Keywords: databases, information system, client an server technology, mathematical model, queuing theory.

Большинство систем, с которыми человек имеет дело, являются сложными. Попытка их математического описания с помощью детерминистических моделей приводит к большой погрешности истинного положения вещей. При решении задач анализа и проектирования таких систем приходится считаться с тем, что случайность является определяющей для процессов, протекающих в системах. При этом пренебрежение случайностью приводит к искажению и ошибкам в выводах и практических рекомендациях.

Первые задачи теории систем массового обслуживания были рассмотрены в начале XX века. Эти задачи являлись актуальными в связи со стремлением упорядочить работу телефонной сети и разработать методы, позволяющие заранее повысить качество обслуживания потребителей в зависимости от числа используемых устройств. Оказалось, что ситуации, возникающие на телефонных станциях, являются типичными не только для телефонной связи. Работа аэродромов, морских и речных портов, магазинов, терминальных классов, электронных вычислительных комплексов, радиолокацион-

ных станций (и т. д.) может быть описана в рамках теории систем массового обслуживания. Работа корпоративной информационной системы (КИС) также может быть описана с помощью теории массового обслуживания. Например: обмен данными между серверами; поддержание в актуальном состоянии структуры распределенных баз данных; формирование отчетных форм при помощи приложения, в котором идет обращение к серверу баз данных. На приведенном ниже рисунке представлена схема формирования отчетных форм. Данные процессы являются системой массового обслуживания и относятся к классу «системы с ожиданием» (с очередью), причем обслуживание упорядоченное, т. е. запросы обрабатываются в порядке поступления. Данные системы являются системами с неограниченным ожиданием. Любой запрос рано или поздно будет обслужен.

В рассматриваемых задачах каждый запрос к базе данных требует его обработки в течение некоторого случайного промежутка времени, зависящего от содержания запроса. Таким образом, работу сервера можно рассматривать как операцию массового обслуживания, состоящую



Структурная схема потока запросов на построение отчетных форм

из элементарных операций – обработки отдельных запросов. Одной из характерных особенностей системы массового обслуживания является наличие некоторого потока событий (запросов).

Под *потоком событий* понимается последовательность однородных событий, появляющихся одно за другим в случайные моменты времени. В общем случае это дает последовательность случайных точек, которые делят числовую ось времени на случайные интервалы. В данной работе мы имеем дело с потоком запросов пользователей к базе данных и поддержанием ее в актуальном состоянии.

Главной характеристикой любого потока является его интенсивность λ , которая равна среднему числу событий, происходящих за единицу времени. Рассмотрим частный случай, когда интенсивность является постоянной величиной. Пусть T – случайная величина, равная времени между соседними обращениями к базе данных, тогда ее функция распределения вероятности равна:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

а, следовательно, функция плотности вероятности T имеет вид:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad t > 0. \quad (2)$$

Кроме того, известно, что числовые характеристики случайной величины T определяются равенствами:

$$M(T) = 1/\lambda, \quad D(T) = 1/\lambda^2. \quad (3)$$

Если на предприятии с числом пользователей, равным 1000, обращения к системе происходят с постоянной интенсивностью (примерно

10 обращений в минуту), данный поток запросов является потоком Пальма, т. е. обладает свойствами ординарности и стационарности с ограниченным последствием. Вероятность обращений к базе данных за промежуток времени длительностью t , независимо от начала и конца этого промежутка, определяется по формуле Пуассона:

$$P_t(k) = (\lambda t)^k e^{-\lambda t} / k!. \quad (4)$$

Используя формулу Пуассона, получаем, что $\lambda t - 1 \leq k_0 \leq \lambda t$.

Обратимся теперь к математической модели механизма создания и передачи на распределенные серверы печатных форм отчетности в работах [1–2]. При формировании отчетных форм возникает поток запросов пользователей к базе данных. Данный поток не обладает постоянной интенсивностью, а, следовательно, является нестационарным пуассоновским потоком с мгновенной плотностью $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{M(t + \Delta t) - M(t)}{\Delta t}. \quad (5)$$

тогда функция плотности распределения будет иметь вид:

$$f(\tau) = \lambda(t_0 + \tau) e^{-\int_{t_0}^{t_0+\tau} \lambda(t) dt}, \quad (6)$$

где τ – временной интервал, на который попадает n событий.

Исходя из вышесказанного, можно математически описать работу информационной системы на уровне приложений и базы данных.

Одной из наиболее сложных задач при разработке ИС, построенных на распределенной

базе данных, является задача организации взаимодействия входящих в ее состав функциональных элементов (ФЭ), представляющих собой функционально завершенные программные единицы приложений – процедуры, функции, объекты и серверы, которые хранят процедуры баз данных, команды Transact_SQL. Управление ФЭ предлагается проводить на двух уровнях: уровень приложения и уровень базы данных. Управление ФЭ на уровне приложения детально рассмотрено в работах [3–4]. Проанализируем подробнее управление ФЭ в ИС на уровне БД. Для описания структуры ИС любого уровня сложности достаточно нескольких типов элементов: набора ФЭ и анализатора состояний. Разработка анализатора состояний, использующего непосредственно проблемные данные, для каждой ИС является задачей уникальной и не менее сложной, чем создание структуры взаимодействия ФЭ. Для упрощения данной задачи определим уровень абстрактного описания состояния ИС. Рассмотрим ИС как некоторый объект, который состоит из набора функциональных элементов F_1, F_2, \dots, F_n и может находиться в конечном множестве состояний в абстрактном пространстве состояний. Каждое из состояний ИС зависит от значений данных, хранящихся в БД, и характеризуется признаками состояния P_1, P_2, \dots, P_m в абстрактном многомерном пространстве состояний. Для регистрации признаков состояния в БД [2–3] заводится служебная таблица «Sign_of_condition». Ее структура представлена в таблице.

Структура признака состояния базы данных

Название поля	Тип поля
1. Kod	Int IDENTITY
2. Name	Char
3. Sign	Bit in not null
4. Old_Sign	Bit in not null
5. Kod_DB	Tinyint
6. Condition	Char
7. Condition_TRUE	Char
8. Condition_FALSE	Char
9. Condition_Invert_Sign	Char

Признак состояния в таблице представляет собой запись. Рассмотрим один из признаков состояния более подробно. Признак состояния – это логическое поле Sign, принимающее два зна-

чения: либо «установлен», либо «сброшен». В логическом поле Sign хранится текущее положение признака. В логическом поле Old_Sign хранится предыдущее значение признака. Изменение предыдущего значения происходит при отработке триггера данной таблицы на UPDATE. Пространство признаков представляет собой гиперпространство. Поскольку признак принимает два значения, то работу ИС можно описать в виде переходов между вершинами m -мерного гиперкуба. Значение конкретного признака зависит от условия данного признака, хранящегося в поле «Condition» и написанного на Transact-SQL. Во время проверки условия функциональные элементы могут работать тремя способами, отличающимися между собой условием запуска ФЭ. С каждым способом запуска будут связаны свои ФЭ. Пусть с первым способом запуска (назовем его «пролог») связаны определенные ФЭ, которые полностью и последовательно выполняются при каждой установке значения «установлен». Данные ФЭ перечисляются в поле «Condition_TRUE» согласно требованиям Transact-SQL. С установкой значения «сброшен» связан второй способ запуска ФЭ, называемый «Эпилогом». ФЭ выполняются аналогичным образом и перечисляются в поле «Condition_FALSE». Кроме этого, есть еще один способ запуска ФЭ, называемый «Очередью». При каждой смене значения ПС выполняются элементы «Очереди». Введение служебной таблицы «Sign_of_condition» с признаками абстрактного пространства состояний позволяет более легкими средствами построить типовой анализатор состояния ИС – Контроллер Состояний (КС), входящий в состав подсистемы управления ИС, предназначенный для управления запуском ФЭ в зависимости от изменений в данных ИС. Для построения КС можно использовать службу «SQL Server Agent». Работа «SQL Server Agent» строится с использованием компонента следующего типа: «Jobs» (задание). Компоненты этого типа описывают задания, которые выполняются автоматически в соответствии с установленным расписанием или вызываются вручную при необходимости. Кроме этого, задания могут вызываться в моменты простоя процессора. Для облегчения построения КС в базе данных заводятся две процедуры. Первая процедура – «EXE_Sign» – предназначена для работы с конкретной записью в таблице «Sign_of_condition». Другая процедура – «EXE_ALL_Sign» – представляет собой

курсор по всем строчкам таблицы «Sign_of_condition», предназначенной для конкретной базы данных или для всех баз распределенной ИС. Данные в эту таблицу заносятся на центральном сервере и, если необходимо, реплицируются на другие распределенные серверы механизмами, описанными в [3–4]. Периодически при запуске задания происходит проверка условий и изменения признаков состояний, которые осуществляются последовательным перебором. После отработки последнего зарегистрированного ПС в «Sign_of_condition» управление передается первому, а затем циклически просматриваются все условия признаков состояния и запускаются необходимые функциональные элементы.

Таким образом, можно описать процесс формирования отчетных форм для КИС с учетом распределенной базы данных.

УДК 004.4

Д. В. Литовкин, А. И. Потанов

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: litd@mail.ru, aleksey.potapov.89@yandex.ru

Представлены модели и алгоритмы, необходимые для создания системы адаптивного тестирования, в которой порядок задания вопросов определяется иерархией единиц компетенции.

Ключевые слова: адаптивный тест, критериально-ориентированный тест, тестовый вопрос, иерархия единиц компетенции.

D. V. Litovkin, A. I. Potapov

MODELS AND ALGORITHMS FOR ADAPTIVE SYSTEMS TESTING OF STUDENTS TO PROVIDE FOR THE STUDY IDENTIFY GAPS PROGRAMMING LANGUAGES

Volgograd State Technical University

Models and algorithms to create a adaptive testing system, where the order is determined by a hierarchy of task competencies issue.

Keywords: adaptive test, a criterion-oriented test, test question, the hierarchy of competence units.

Введение

Адаптивные тесты (АТ) обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными [1; 2; 6]:

- испытуемому подбираются вопросы, по сложности подходящие его уровню знаний;

- задается столько вопросов, сколько необходимо для достижения цели, поставленной тестированием;

- при помощи АТ можно определить уровень знаний испытуемого.

Порядок задания вопросов в известных алгоритмах адаптивного тестирования определяется статической сложностью вопросов [3; 4]. Сначала

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулагина, Л. В. Разработка многосерверной системы передачи и обработки данных / Л. В. Кулагина, Н. В. Кулагин // Труды СВМО. – 2005. – Т. 7. – № 1. – С. 421–422.

2. Кулагина, Л. В. Некоторые вопросы построения и программной реализации корпоративных информационных систем / Л. В. Кулагина, Н. В. Кулагин // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2009. – № 1(37). – С. 95–98.

3. Кулагин, Н. В. Математическая модель системы обработки информации и управления систем / Н. В. Кулагин, Т. Ф. Мамедова // Средневолжское математическое общество. Препринт № 37. – Саранск, 2001.

4. Кулагина, Л. В. Механизм управления информационной системой на многосерверной платформе систем / Л. В. Кулагина, Н. В. Кулагин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 1(72). – С. 134–137.

5. Ивченко, Г. И. Теория массового обслуживания / Г. И. Ивченко, В. А. Каштанов, И. Н. Коваленко. – М.: Высш. шк., 1982. – 237 с.

ла задается вопрос среднего уровня сложности или того уровня, который соответствует уровню испытуемого. Если испытуемый дает правильный ответ, то сложность очередного вопроса повышается, в противном случае – понижается. Тестирование завершается в случае:

- если испытуемый ответил на самый сложный вопрос;

- испытуемый не ответил на самый легкий вопрос;

- испытуемый многократно ответил на вопросы некоторого уровня сложности, но не смог ответить на более сложные вопросы.

Такой подход хорошо применим к нормативно-ориентированному тесту, однако не всегда – для критериально-ориентированного теста, который выявляет степень усвоения испытуемым определенного раздела в заданной предметной области [4]. Существующий подход адаптивного тестирования не гарантирует, что будут заданы вопросы, соответствующие всем единицам компетенции (ЕК) некоторого раздела предметной области. Под *ЕК* будем понимать любую сторону или составляющую компетенции, которую с точки зрения тестирования целесообразно учитывать и специфицировать в самостоятельном качестве [7]. Под *компетенцией* понимается набор качеств (знаний, навыков, мотивов, установок), способствующих успешному решению определенной задачи [5].

Актуальной задачей является расширение адаптивного подхода за счет использования иерархии ЕК для определения очередного задаваемого вопроса. В этом случае порядок задаваемых вопросов будет определяться в первую очередь движением по сети ЕК и только во вторую – повышением или понижением уровня сложности тестовых вопросов. Такой подход позволит задавать вопросы по всем интересующим нас ЕК и определять те ЕК, которыми не владеет испытуемый.

Модель теста, ориентированного на ЕК

Тест представляет собой базу вопросов *QB*, в которой с каждым вопросом ассоциируется одна или несколько ЕК:

$$Test = \{QB, CN, SA\}, \tag{1}$$

где *QB* – база тестовых вопросов; *CN* – ЕК, которыми должен владеть испытуемый (представляется ациклическим графом, см. ниже); *SA* – отношения ассоциации между ЕК и вопросами; наличие отношения ассоциации A_k между ЕК C_i и вопросом Q_j указывает, что для успешного ответа на вопрос Q_j необходимо владеть ЕК C_i .

ЕК, которыми должен владеть испытуемый, составляют иерархию и могут быть представлены ациклическим графом:

$$CN = \{SC, SS\}, \tag{2}$$

где *SC* – множество ЕК; *SS* – направленные отношения декомпозиции-агрегации между ЕК [7].

Отношение декомпозиции-агрегации $S_m = (C_i, C_j)$ указывает, что для владения ЕК C_i необходимо владеть ЕК C_j . ЕК C_i будет называть родительской по отношению к ЕК C_j и, наоборот, считать дочерней по отношению к ЕК C_i .

На рис. 1 представлен пример иерархии ЕК и связанных с ней вопросов для предметной области «программирование на языке высокого уровня Си».

В иерархии можно выделить ЕК трех типов: целевые, базовые и промежуточные. *Целевые ЕК* – это комплексные знания и умения, которыми должны обладать все испытуемые в рам-

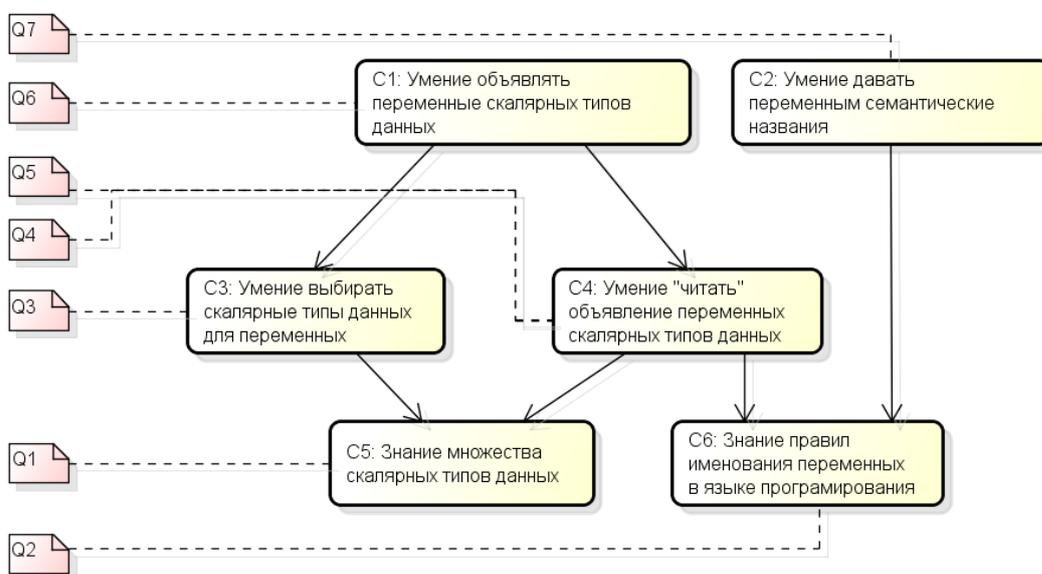


Рис. 1. Пример иерархии ЕК и ассоциированных с ней вопросов

ках оцениваемого раздела предметной области; они представляются в ациклическом графе вершинами с полустепенью захода, равной 0 (в примере ЕК C_1 и C_2). Базовые ЕК – это знания и умения, которые считаются неделимыми; они соответствуют листьям ациклического графа (в примере ЕК C_5 и C_6). Остальные ЕК соответствуют знаниям и умениям, которые обеспечивают ЕК более высокого уровня и одновременно сами поддерживаются низкоуровневыми ЕК (в примере ЕК C_3 и C_4).

Необходимо отметить, что владение всеми дочерними ЕК (например, ЕК C_3 и C_4) зачастую не означает владение родительской ЕК (например, ЕК C_1). Это обусловлено тем, что родительская ЕК требует от испытуемого умение комбинировать дочерние ЕК и применять их в соответствии с контекстом.

Отдельная ЕК представляется кортежем:

$$C = \{Name, Mark\}, \quad (3)$$

где *Name* – наименование ЕК (оно должно быть уникальным среди всех ЕК и задаваться автором теста); *Mark* – пометка, определяющая, владеет ли испытуемый данной ЕК. Изначально ЕК не помечена, но в процессе тестирования ей присваивается значение либо *владеет*, либо *не владеет*.

База *QB* содержит множество тестовых вопросов, где каждый вопрос представляется кортежем:

$$Q = \{Content, Difficulty, Tags\}, \quad (4)$$

где *Content* – тип («вопрос с открытым ответом», «вопрос с закрытым ответом» и т. д.) и формулировка вопроса, варианты правильных ответов; задается автором теста; *Difficulty* – статистическая сложность вопроса – это доля несправившихся с вопросом участников из группы испытуемых (шкала измерения от 0 до 100 %) [3]; задается либо экспертным путем, либо вычисляется на основе статистической выборки из предыдущих попыток тестирования; *Tags* – список классификационных признаков, характеризующих контент вопроса *Content*; признаки задаются автором теста и используются для поиска связанных вопросов по контенту.

Ниже приведен пример тестового вопроса.

Вопрос Q_1

Content = Тип: «вопрос с закрытым ответом»

Формулировка:

Укажите типы данных, относящиеся к скалярным:

- *char*
- *unsigned char*
- *unsigned int*
- *unsigned long int*
- *char **

Варианты правильных ответов:

- *char*
- *unsigned char*
- *unsigned int*
- *unsigned long int*

Difficulty = 50

Tags = { *char*, *unsigned char*, *unsigned int*, *unsigned long int* }.

Модель испытуемого

Модель испытуемого содержит информацию, необходимую для начала тестирования, а также результаты тестирования:

$$Student = \{Name, Level, TestTrack\}, \quad (4)$$

где *Name* – имя испытуемого; *Level* – уровень испытуемого в диапазоне $[0; 100]$; испытуемый обладает уровнем равным *Level*, если он ответит со 100 %-й вероятностью (без учета опечаток) на любой вопрос, сложность *Difficulty* которого меньше или равна *Level*; уровень задается либо экспертным путем перед началом тестирования, либо вычисляется на основе предыдущих попыток тестирования испытуемого; *TestTrack* – траектория тестирования.

Траектория описывает, какие тестовые вопросы были заданы и как на них отвечал испытуемый:

$$TestTrack = \{qIndex, Answer, Grade, cIndex\}, \quad (5)$$

где *qIndex* – индекс вопроса в базе *QB*; *Answer* – ответ испытуемого на тестовый вопрос (например, строка, если ответ в открытой форме); *Grade* – оценка ответа в процентах $[0; 100]$; *cIndex* – индекс ЕК в иерархии *CN*, которая ассоциируется с вопросом.

Тестирование, ориентированное на ЕК

Целью критериально-ориентированного тестирования является определение, владеет ли ис-

пытуемый каждой ЕК из иерархии CN . Поэтому тестирование выполняется путем обхода иерархии ЕК и задания тех вопросов, которые ассоциированы с этими ЕК. В процессе обхода иерархии ЕК можно выделить следующие ситуации: выбор первого вопроса (единицы компетенции), движение вверх по иерархии ЕК, движение вниз по иерархии ЕК, переход к несвязанной ЕК.

Далее будем полагать, что в иерархии ЕК только одна целевая ЕК, а затем обобщим этот подход на несколько целевых ЕК.

Выбор первого вопроса (единицы компетенции)

Для того чтобы первый вопрос соответствовал по сложности уровню знаний испытуемого, из базы QB выбираются вопросы, наиболее близкие по сложности $Q.Difficulty$ к уровню знаний $Student.Level$, и формируется выборка $SampleQ$. Чтобы минимизировать общее количество задаваемых вопросов, из $SampleQ$ выбираются только те вопросы, которые ассоциированы с ЕК, находящимися ближе всего к целевой ЕК, т. е. с ЕК $SampleC$. Чтобы определить множество $SampleC$, достаточно подсчитать длину пути от целевой ЕК до каждой ЕК, ассоциированной с вопросом из $SampleQ$, и выбрать ЕК с минимальной длиной пути. Как результат опре-

деляется первый тестовый вопрос $currentQ$ и ассоциированная с ним ЕК $currentC$.

Таким образом, первым задается вопрос, на который испытуемый предположительно должен ответить успешно, и он соответствует ЕК с максимально высоким уровнем иерархии.

Ответ на первый тестовый вопрос записывается в траекторию тестирования $Student.TestTrack$. Если ответ оценивается положительно, то в иерархии CN ЕК $currentC$ и все нижележащие ЕК помечаются как подтвержденные, т. е. $Mark = владеет$, и далее выполняется движение вверх по иерархии ЕК. Если ответ оценивается отрицательно, то ЕК $currentC$ и все вышележащие ЕК помечаются как неподтвержденные, т. е. $Mark = не_владеет$, и далее выполняется движение вниз по иерархий ЕК.

Рассмотрим на примере выбор первого вопроса (единицы компетенции). Пусть уровень знаний испытуемого составляет $Student.Level = 50$, тогда наиболее близким по уровню сложности будет вопрос Q_1 , т. е. $SampleQ = \{Q_1\}$. В данном случае наблюдается безальтернативный вариант выбора вопроса; соответственно получаем $currentQ = Q_1$ и $currentC = C_5$ (рис. 2).

Предположим, что испытуемый ответил на вопрос Q_1 правильно, тогда помечаем ЕК C_5 как подтвержденную и переходим по иерархии ЕК вверх (рис. 2).

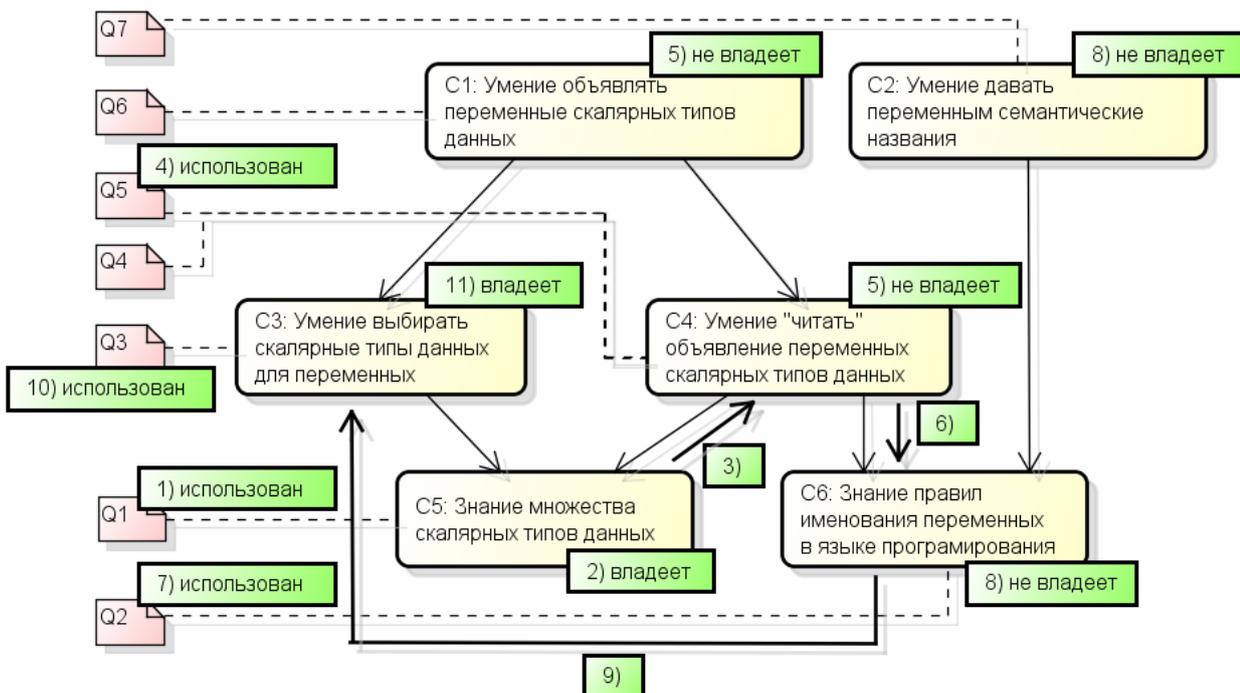


Рис. 2. Пример обхода иерархии ЕК при критериально-ориентированном тестировании

Номера соответствуют порядку действий при тестировании. Номера 1, 4, 7, 10 обозначают выбор вопроса; номера 2, 5, 8, 11 – ответ на вопрос и присвоение пометок ЕК; номера 3, 6, 9 – переход между единицами компетенции.

Движение вверх по иерархии ЕК

Если испытуемый успешно ответил на вопрос $currentQ$, то следующий вопрос выбирается среди вопросов, которые ассоциированы с родительскими ЕК по отношению к ЕК $currentC$. Эти ЕК не должны иметь пометок, т. е. *Mark* для них не определено.

Пусть из вопросов, ассоциированных с родительскими ЕК, сформировано множество $SampleQ$. Среди вопросов $SampleQ$ выбирается вопрос, уровень сложности которого больше уровня сложности предыдущего вопроса, т. е. принадлежит интервалу

$$[currentQ.Difficulty +$$

$$+low, currentQ.Difficulty + high],$$

где *low* и *high* – минимальный и максимальный прирост сложности вопроса. Если ограничение по уровню сложности не выполняется, то выбирается вопрос, уровень сложности которого наиболее близко соответствует ограничению.

Как результат выбирается очередной вопрос $currentQ$ (и ассоциированная с ним ЕК $currentC$), который соответствует ЕК более высокого уровня иерархии и который, как правило, характеризуется более высокой сложностью.

Ответ на тестовый вопрос записывается в траекторию тестирования *Student.TestTrack*. Если ответ оценен положительно, то ЕК $currentC$ и все нижележащие ЕК оцениваются как подтвержденные, и движение продолжается вверх до целевой ЕК. Если ответ оценивается отрицательно, то ЕК $currentC$ и все вышележащие ЕК помечаются как неподтвержденные, и начинается движение вниз по иерархии ЕК с целью определения тех ЕК, которыми не владеет испытуемый.

Рассмотрим на примере движение вверх по иерархии ЕК. Испытуемый ранее успешно ответил на вопрос $currentQ = Q_1$ ($currentC = C_5$). Формируем множество вопросов, ассоциированных с родительскими ЕК по отношению к C_5 , получаем $SampleQ = \{Q_3, Q_4, Q_5\}$. Среди вопросов $SampleQ$ выбираем вопросы, уровень сложности которых принадлежат интервалу

$[50 + 5, 50 + 10]$, где 50 – уровень сложности вопроса Q_1 ; 5 и 10 – минимальный и максимальный прирост сложности вопроса. Этому ограничению удовлетворяют два вопроса – Q_3 и Q_5 . Из них вероятностным способом выбираем вопрос Q_5 ; следовательно, $currentQ = Q_5$ и $currentC = C_4$ (см. рис. 2).

Предположим, что испытуемый ответил на вопрос Q_5 неверно, тогда помечаем ЕК C_4 , а также вышележащую непомеченную ЕК C_1 , как неподтвержденные (см. рис. 2). Далее движемся вниз по иерархии с целью определения причины неудачного исхода.

Движение вниз по иерархии ЕК

Если испытуемый не ответил на вопрос $currentQ$, то задается вопрос с целью выяснения причины такого исхода: либо испытуемый не владеет текущей ЕК, либо – одной из нижележащих ЕК. Поэтому следующий вопрос выбирается среди вопросов, которые ассоциированы с дочерними ЕК (не имеющими никаких пометок) по отношению к ЕК $currentC$. Как результат из вопросов, ассоциированных с дочерними ЕК, формируется множество $SampleQ$.

С целью более точного определения причины неудачного ответа на родительский вопрос $currentQ$ из множества $SampleQ$ необходимо выбрать только те вопросы, которые связаны с ним по контексту. Для связанности двух вопросов по контексту предлагается использовать теги. Они могут иметь различную природу; применительно к предметной области «программирование на языке высокого уровня Си» можно использовать ключевые слова языка программирования. Таким образом, в множество $SampleQ$ попадают только те вопросы, которые имеют наибольшее пересечение по тегам с родительским вопросом.

Далее среди вопросов $SampleQ$ выбирается вопрос, уровень сложности которого меньше уровня сложности предыдущего вопроса, т. е. принадлежит интервалу

$$[currentQ.Difficulty -$$

$$-high, currentQ.Difficulty - low],$$

где *low* и *high* – минимальная и максимальная убыль сложности вопроса. Если ограничение по уровню сложности не выполняется, то выбирается вопрос, уровень сложности которого наиболее близко соответствует ограничению.

Как результат выбирается очередной вопрос $currentQ$ (и ассоциированная с ним ЕК $currentC$), который соответствует ЕК более низкого уровня иерархии и который, как правило, характеризуется меньшей сложностью.

Ответ на тестовый вопрос записывается в траекторию тестирования $Student.TestTrack$. Если ответ оценивается отрицательно, то ЕК $currentC$ и все непомеченные вышележащие ЕК помечаются как неподтвержденные; и продолжается движение вниз по иерархии ЕК до листьев. Тем самым продолжается поиск причины неудачных исходов. При этом может возникнуть ситуация, когда базовая ЕК и все ее родительские ЕК уже помечены, следовательно, движение вверх-вниз по иерархии ЕК невозможно. Однако в иерархии ЕК могут оставаться еще непомеченные ЕК. В этом случае требуется поиск еще непомеченных ЕК, не связанных с текущей.

Если ответ оценен положительно, то ЕК $currentC$ и все нижележащие непомеченные ЕК оцениваются как подтвержденные. В этом случае возникает ситуация, когда родительская ЕК не подтверждена, а дочерняя – подтверждена, следовательно, движение вверх-вниз по иерархии ЕК невозможно и требуется переход к несвязанной ЕК.

Рассмотрим на примере движение вниз по иерархии ЕК. Испытуемый ранее неудачно ответил на вопрос $currentQ = Q_5$ ($currentC = C_4$). Формируем множество вопросов, ассоциированных с дочерними (непомеченными) ЕК по отношению к C_4 , получаем $SampleQ = \{Q_2\}$. Так как найден только один вопрос, то поиск по тегам и уровню сложности не имеет значения, следовательно, $currentQ = Q_2$ и $currentC = C_6$ (см. рис. 2).

Предположим, что испытуемый ответил на вопрос Q_2 неверно, тогда помечаем ЕК C_6 , а также вышележащую непомеченную ЕК C_2 , как неподтвержденные (см. рис. 2). В этом случае движение вверх-вниз по иерархии ЕК невозможно, а так как не все ЕК помечены, то требуется переход к несвязанной ЕК.

Переход к несвязанной ЕК

В некоторых ситуациях движение вверх-вниз по иерархии ЕК невозможно, однако в иерархии ЕК еще могут присутствовать непомеченные ЕК.

Поиск таких ЕК выполняется обходом ациклического графа в ширину, начиная с роди-

тельской ЕК по отношению к $currentC$. Если такие ЕК не найдены, то поиск возобновляется с ЕК более верхнего уровня (и т. д.) вплоть до целевой ЕК.

Пусть в результате обхода сформировано множество еще непомеченных ЕК $SampleC$ и известна их общая родительская ЕК $parentC$. Если испытуемый уже отвечал на вопрос, ассоциированный с $parentC$, то выбор вопроса (единицы компетенции) осуществляется по тем же принципам, что и при движении вниз по иерархии ЕК.

Если испытуемый еще не отвечал на вопрос, ассоциированный с $parentC$, то из вопросов, ассоциированных с дочерними ЕК для $parentC$, формируется множество $SampleQ$. Среди вопросов $SampleQ$ выбирается вопрос, уровень сложности которого равен последнему вопросу, на который был получен правильный ответ. Если ограничение по уровню сложности не выполняется, то выбирается вопрос, уровень сложности которого наиболее близко соответствует ограничению.

Ответ на тестовый вопрос записывается в траекторию тестирования $Student.TestTrack$. Если ответ оценивается отрицательно, то ЕК $currentC$ и все непомеченные вышележащие ЕК помечаются как неподтвержденные, и продолжается движение вниз по иерархии ЕК до листьев.

Если ответ оценен положительно, то осуществляется переход к следующей несвязанной ЕК, пока имеются непомеченные вершины.

Рассмотрим на примере переход к несвязанной ЕК. Испытуемый последний раз неудачно ответил на вопрос $currentQ = Q_2$ ($currentC = C_6$). ЕК C_6 является базовой, поэтому движение вниз по иерархии невозможно; движение вверх также невозможно, так как родительская ЕК уже помечена. В этом случае необходим поиск оставшихся непомеченных ЕК. Путем обхода графа находим множество непомеченных ЕК $SampleC = \{C_3\}$ с общим родителем $parentC = C_1$ и формируем множество связанных с ними вопросов – $SampleQ = \{Q_3\}$. Так как вопрос только один, то задаем его вне зависимости от уровня сложности; следовательно, $currentQ = Q_3$ и $currentC = C_3$ (см. рис. 2).

Предположим, что испытуемый ответил на вопрос Q_3 верно, тогда помечаем ЕК C_3 как подтвержденную (см. рис. 2). Так как все ЕК помечены, то тестирование завершается.

Учет нескольких целевых ЕК

В иерархии ЕК в общем случае может быть несколько целевых ЕК. Однако задачу обхода ациклического графа с несколькими целевыми ЕК можно свести к задаче обхода циклического графа с одной целевой ЕК. Для этого из графа выделяется подграф с одной целевой ЕК и выполняется его обход. При этом распространение пометок *владеет/не владеет* для ЕК выполняется на весь граф. Далее выделяется подграф с другой целевой ЕК и выполняется его обход с учетом пометок ЕК, полученных при предыдущем обходе. Так продолжается для всех целевых ЕК.

В рассмотренном примере ациклический граф включает две целевые ЕК – C_1 и C_2 . Сначала исследуется целевая ЕК C_1 ; связанный с ней подграф включает в себя все узлы, кроме C_2 . В результате исследования целевой ЕК C_1 помечаются все ЕК в иерархии (в том числе целевая ЕК C_2). Следовательно дальнейшее тестирование не требуется.

Заключение

Предложен подход к адаптивному критериально-ориентированному тестированию, в котором порядок задания вопросов определяется иерархией ЕК, а внутри ЕК – наличием необходимых тегов и заданной статистической сложностью.

Такой подход позволяет целенаправленно исследовать ЕК определенного раздела в заданной предметной области, учитывать уровень знаний испытуемого и связанность вопросов по контексту.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Достоинства адаптивной модели педагогического тестирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.znannya.org/?view=concept:1213>
2. Адаптивные тесты Microsoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.examen.ru/add/School-Subjects/Mathematics-and-Computer-Science/Computer-Science/9760/9769/9782/9783>
3. Севрук, А. И. Статистический критерий уровня учебных достижений [Электронный ресурс] / А. И. Севрук ; ПГУ // Вестник Пермского университета. – Пермь, 2008. – Режим доступа : http://vestnik.psu.ru/files/articles/56_79497.p
4. Ким, В. С. Тестирование учебных достижений : монография / В. С. Ким ; УГПИ. – Уссурийск : Изд-во УГПИ, 2007. – 214 с.
5. HR-Portal: Сообщество HR-менеджеров [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.hr-portal.ru/taxonomy/term/46>
6. Воробкалов, П. Н. Метод оценки качества адаптивных обучающих систем с использованием имитационного моделирования // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 7 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе. Вып. 4). – С. 164–166.
7. Башмаков, А. И. Принципы и технологические основы создания открытых информационно-образовательных сред / А. И. Башмаков, В. А. Старых ; ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика». – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 719 с.

УДК 623.618 623.4.11

В. И. Лобейко, С. В. Поляков, А. В. Старусев

МЕТОД ОЦЕНКИ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ АСУ ПРИ ЗАДАННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ ТРЕБОВАНИИ НА СИСТЕМУ

Астраханский государственный университет

E-mail: starusev-av@yandex.ru

В статье предлагается метод, который позволяет установить точность соответствия математических моделей реальным объектам в зависимости от условий испытаний, а также комбинированный метод оценки показателей качества испытываемых автоматизированных систем управления во всех условиях их функционирования.

Ключевые слова: комбинированный метод, автоматизированная система управления, аддитивное взвешивание.

V. I. Lobeyko, S. V. Polyakov, A. V. Starusev

METHOD OF THE ESTIMATION OF CRITERIA OF EFFICIENCY OF THE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM AT THE SET TECHNICAL REQUIREMENTS ON SYSTEM

The Astrakhan State University

In article the method which allows to install accuracy of correspondence of mathematical models to real objects depending on test specifications, and also the combined valuation method of merit figures of the tested automated management systems in all conditions of their functioning is offered.

Keywords: the combined method, the automated management system, additive weighing.

Постановка задачи

Опыт испытаний и исследований сложных систем в диапазоне различных условий показывает, что наиболее полная и достоверная оценка автоматизированной системы управления (АСУ) может быть достигнута лишь комбинированными методами, предусматривающими совместное использование результатов экспериментов, полученных при испытаниях реальных объектов и результатов, полученных другими методами, из которых наиболее эффективным является метод испытаний с использованием математических моделей.

В основе комбинированного метода оценки показателей качества АСУ заложен принцип формирования комбинированной оценки определяемого показателя в большом диапазоне условий и с требуемой точностью (при довери-

тельном уровне оценки не ниже заданного) путем применения для этой цели результатов ограниченного числа экспериментов с использованием реальных объектов (в основном определяющих стоимость испытаний) и результатов экспериментов с использованием математических моделей, доверие к которым характеризуется степенью близости систем испытаний с использованием математических моделей и реальных объектов.

Метод обработки результатов, полученных при испытании реальной АСУ (проводимых в областях «Н» испытаний) и испытаний АСУ с использованием математических моделей (проводимых в областях « \bar{H} » испытаний), сводится к решению задачи по комплексному использованию результатов этих экспериментов. В связи с необходимостью исполь-

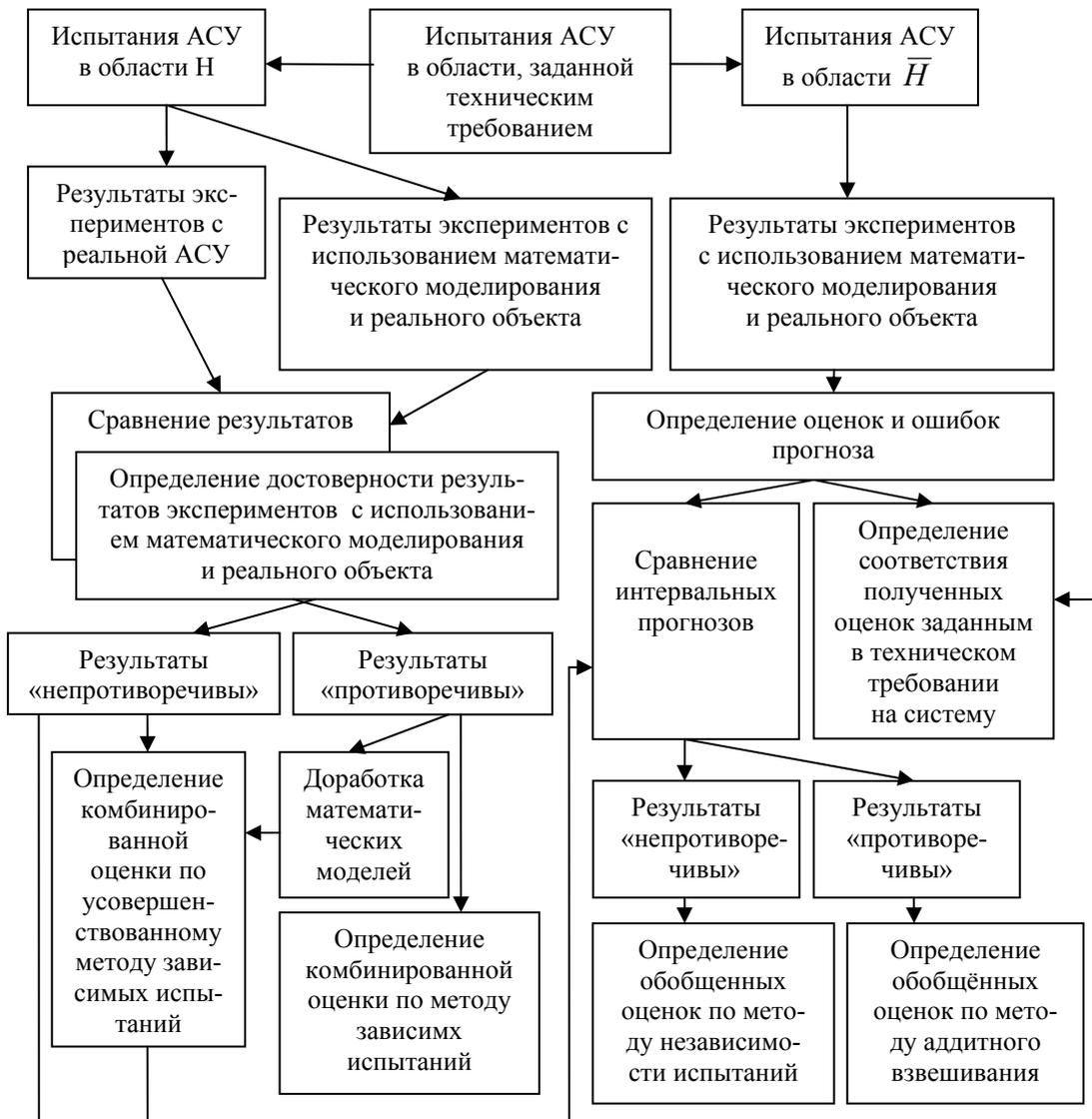


Схема комбинированной оценки критериев эффективности испытываемой АСУ

зования моделей для оценки характеристик в большом диапазоне изменений условий необходимо оценить их пригодность к моделированию, что определяется по статистической совместимости результатов моделирования и испытаний с использованием реального объекта по выборкам ограниченного объема.

Предлагается метод оценки результатов экспериментов, проведенных в диапазоне различных условий, позволяющий оценить точность соответствия математических моделей реальным объектам, в зависимости от условий испытаний, то есть изменения разности характеристик, полученных по результатам экспериментов с использованием реального объекта и экспериментов с использованием реального объекта и математической модели.

Сравнение результатов испытаний в различных условиях проводится с помощью проверки гипотез о тождественности распределений случайных величин в двух различных выборках. Проверку будем проводить непараметрическим критерием однородности двух выборок Вилкоксона [1], который дает возможность, не строя (более того, не зная законов распределения случайных величин) проверять гипотезу о принадлежности (непринадлежности) двух выборок к одной совокупности с непрерывной функцией распределения. Необходимость использования критерия Вилкоксона связана с тем, что в ряде случаев ввиду наличия малых выборок не удастся определить закон распределения результатов экспериментов. Необходимо проверить и гипотезы об однородности двух выборок для ответа на вопрос, являются ли расхождения существенными.

Метод решения

Порядок применения критерия Вилкоксона следующий: пусть случайная величина v в первом условии испытаний в результате n_1 экспериментов приняла значения $\{v_i^{(1)}\}$ ($i=1, \bar{n}_1$), а во втором условии испытаний в результате n_2 экспериментов – значения $\{v_j^{(2)}\}$ ($j=1, \bar{n}_2$). При исследовании оказалось, что $\bar{v}^{(1)} \neq \bar{v}^{(2)}$ или $Dv^{(1)} \neq Dv^{(2)}$, где $\bar{v}^{(1)}, \bar{v}^{(2)}$ и $Dv^{(1)}, Dv^{(2)}$ – оценки математического ожидания и дисперсии случайной величины v в первом и во втором условиях испытаний соответственно, равные

$$\bar{v}^{(1),(2)} = M[v^{(1),(2)}], D[v^{(1),(2)}] = M[v^{(1),(2)}]^2. \quad (1)$$

Необходимо проверить гипотезы об однородности двух выборок, то есть в проверке то-

го, что функции распределения $Fv^{(1)}$ и $Fv^{(2)}$ тождественны.

Для решения задачи определим алгоритм вычислений:

1) обе выборки располагаем в один вариационный ряд;

2) рассчитываем величину

$$Q^* = \sum_{i=1}^{n_1} \eta_i^{(1)}, \quad (2)$$

где $\eta_i^{(1)}$ – номер по порядку, соответствующий i -й составляющей случайного вектора $\{v_i^{(1)}\}$ при $i=1, \bar{n}_1$;

3) выбираем уровень значимости α , соответствующий доверительной вероятности, равной β ;

4) по значениям n_1, n_2 и α из таблиц, приведенных в [2], находим уровни значимости \underline{Q}^* и \bar{Q}^* .

Если $Q^* \in (\underline{Q}^*, \bar{Q}^*)$, то гипотеза о тождественности функций распределения не отвергается. В случае если значения Q^* и \bar{Q}^* не табулированы, то поступим следующим образом: руководствуясь тем, что величина Q^* распределена приблизительно нормально с характеристиками $M[Q^*] = \frac{n_1(n_1 + n_2 + 1)}{2}$ и $D(Q^*) = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}$, значения верхней и нижней границ могут быть рассчитаны по формулам: $M \pm t_\beta \sqrt{D}$, где $t_\beta = \arg \Phi^*[(1 + \beta)/2]$.

Здесь функция $\arg \Phi^*(v)$ – обратная функции $\Phi^*(v)$. Значение t_β для различных доверительных вероятностей β приведены в [3];

5) сравниваем доверительные интервалы (для одинаковых β), полученные при оценке результатов экспериментов с использованием реального объекта и экспериментов с использованием реального объекта и математической модели, проведенных в различных условиях.

При этом результаты считаются «непротиворечивыми»:

если оценки рассматриваемого параметра находятся в пересечении доверительных интервалов;

длина пересечения доверительных интервалов (Δ_o) такова, что

$$\frac{\Delta_o}{\Delta_{\min}(i, j)} \geq K, \quad (3)$$

где $\Delta_{\min}(i, j)$ – наименьшая длина доверительного интервала в i -х и j -х условиях соответственно; K – пороговое значение, характеризующее длину пересечения доверительных интервалов, принимаемое равным 0,5, которое, согласно [4], считается удовлетворяющим условию «непротиворечивости» результатов.

Убедившись по расчетным данным в «непротиворечивости» результатов экспериментов с использованием реального объекта и экспериментов реального объекта с математической моделью, определяем комбинированную оценку по правилу «усреднения»:

$$\hat{R}_K = \frac{m\bar{R}_H + n\bar{R}_{PH}}{m + n}, \quad (4)$$

где m, n – число экспериментов с использованием реального объекта и экспериментов с использованием реального объекта и математической модели соответственно; \bar{R}_H, \bar{R}_{PH} – выборочные значения характеристики, определяемой по результатам экспериментов с использованием реального объекта и экспериментов с использованием реального объекта и математической модели соответственно.

Выигрыш в точности оценки показателя эффективности (4) комбинированным методом определяется отношением дисперсий оценок \bar{R}_H и R_K .

$$\beta_1 = \frac{D(\bar{R}_H)}{D(R_K)} = \frac{(m + n)^2}{m^2 + n^2 \left[\frac{D(\bar{R}_{PH})}{D(\bar{R}_H)} \right]}. \quad (5)$$

$$f(\tilde{R}_K) = \frac{1}{\sqrt{[C_H^2 D(\bar{R}_H) + C_{PH}^2 D(\bar{R}_{PH})]2\pi}} \exp \left[-\frac{[\tilde{R}_K - (C_H \bar{R}_H + C_{PH} \bar{R}_{PH})]^2}{2(C_H^2 D(\bar{R}_H) + C_{PH}^2 D(\bar{R}_{PH}))} \right] \quad (8)$$

Дисперсия при этом равна

$$D(R_K) = C_H^2 D(\bar{R}_H) + C_{PH}^2 D(\bar{R}_{PH}). \quad (9)$$

Тогда доверительный интервал комбинированной оценки определяется по формуле

$$I = (\tilde{R}_K - t_\beta \sigma_{\tilde{R}_K}; \tilde{R}_K + t_\beta \sigma_{\tilde{R}_K}), \quad (10)$$

где t_β – квантиль нормального распределения при заданной доверительной вероятности β ; $\sigma_{\tilde{R}_K} = \sqrt{D(R_K)}$.

Выигрыш в точности оценки показателя (6) комбинированным методом определяется отношением дисперсий оценок \bar{R}_H и R_K :

Точную комбинированную оценку возможно формировать и с учетом весовых коэффициентов выборочных значений характеристик \bar{R}_H и \bar{R}_{PH} .

$$R_K(v_\phi) = C_H \bar{R}_H(v_\phi) + C_{PH} \bar{R}_{PH}(v_\phi), \quad (6)$$

где C_H и C_{PH} – весовые коэффициенты выборочных значений характеристик, определяемые по результатам экспериментов с использованием реального объекта и экспериментов с использованием реального объекта и математической модели соответственно:

$$C_H = \frac{D(\bar{R}_{PH})}{D(\bar{R}_H) + D(\bar{R}_{PH})}; \quad C_{PH} = \frac{D(\bar{R}_H)}{D(\bar{R}_H) + D(\bar{R}_{PH})}.$$

Определение весовых коэффициентов по указанным формулам позволяет ослабить влияние на комбинированную оценку $R_K(v_\phi)$ результатов, имеющих существенно большую дисперсию.

При определении интервальной комбинированной оценки характеристик по указанным формулам представляем ее в виде суммы двух независимых случайных величин с известными законами распределения, то есть решается задача композиции двух законов распределения

$$\tilde{R}_K = C_H \tilde{R}_H + C_{PH} \tilde{R}_{PH}.$$

Плотность распределения комбинированной оценки в данном случае определяется по формуле

$$\beta_2 = \frac{D(\bar{R}_H)}{D(R_K)} = \frac{1}{C_H^2 + C_{PH}^2 \frac{D(\bar{R}_{PH})}{D(\bar{R}_H)}}. \quad (11)$$

Выводы

1. Предложенный метод позволяет выполнять сравнительную оценку результатов испытаний АСУ при проведении экспериментов с использованием реального объекта и экспериментов с использованием реального объекта и математических моделей.

2. Данный метод дает возможность сравнивать степень точности математических моделей с реальными объектами систем в зависимости от различных условий испытаний.

3. Предлагаемый комбинированный метод оценки показателей качества испытываемых систем во всех условиях их применения дает существенный выигрыш в точности их оценки.

- БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК
1. Ван дер Варден, Б. Л. Математическая статистика / Б. Л. Ван дер Варден. – М.: ИЛ, 1960.
 2. Библиотека алгоритмов / М. И. Агеев [и др.]. – Вып. 1. – М., 1975.
 3. Венцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Венцель. – М.: Наука, 1969.
 4. Прогнозирование количественных характеристик процессов / Ю. В. Чуев [и др.]. – М., 1975.

УДК 378.16:004

А. О. Матлин, С. А. Фоменков

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: alexander.o.matlin@gmail.com, saf@vstu.ru

Рассматривается методика создания и выполнения виртуальной лабораторной работы. Приводится описание примеров использования виртуальных лабораторных работ.

Ключевые слова: виртуальные тренажеры, информационная система, интерактивные средства обучения.

A. O. Matlin, S. A. Fomenkov

VIRTUAL LABORATORY WORK CREATION METHODOLOGY USING THE AUTOMATED SYSTEM FOR INTERACTIVE LEARNING TOOLS DEVELOPMENT

Volgograd State Technical University

The technique of creating and passing a virtual lab are presented. An example of the use of virtual laboratory work is presented.

Keywords: virtual simulators, information system, interactive learning tools.

Развитие информационных технологий позволяет использовать в образовательном процессе новые средства и способы обучения для повышения качества и практической значимости образовательной программы.

К таким инструментам относятся интерактивные средства обучения (виртуальные тренажеры). Их применение в образовательном процессе позволяет повысить качество обучения за счет приобретения учащимися практических навыков в определенной предметной области. Использование виртуальных тренажеров позволяет также автоматизировать проверку знаний учащихся, что снимает избыточную нагрузку с преподавателей и дает им возможность сконцентрироваться на преподавании учебного материала, а не на рутинной проверке базовых знаний учащихся.

Процесс создания большинства современных виртуальных тренажеров трудоемок. Для создания новой или модификации имеющейся виртуальной работы необходимо привлечение технических специалистов, обладающих навыками программирования. Существующие автоматизированные средства создания виртуальных тренажеров зависят от предметной области

их применения [1]. С учетом данных тенденций в настоящей работе предлагается создание и модификация виртуальных лабораторных работ с помощью автоматизированной системы создания интерактивных средств обучения [2].

Под *виртуальными тренажерами* мы будем понимать прикладные программы ЭВМ, представляющие собой совокупность виртуальных работ, каждая из которых включает:

- 1) справочный материал – текстовую информацию, поясняющую суть выполняемой лабораторной работы и позволяющую студенту получить теоретические знания;
- 2) видеоизображения, демонстрирующие порядок проведения лабораторной работы;
- 3) 2D-модель изучаемой предметной области, представляющей собой набор фоновых графических изображений шагов лабораторной работы, для самостоятельного выполнения студентом работы.

Независимость автоматизированной системы создания интерактивных средств обучения от предметной области накладывает ряд ограничений на методику создания виртуальных работ с ее помощью, а именно:

- 1) виртуальная лабораторная работа состоит

из шагов, сменяющих друг друга в процессе выполнения работы;

2) каждый шаг состоит из 2D-изображения, на котором будут происходить действия набором инструментов, представленных также 2D-изображениями;

3) переход между шагами осуществляется по определенным разработчиком виртуальной работы условиям.

Диаграмма вариантов использования автоматизированной системы создания виртуальной лабораторной работы (далее – ВЛР) в нотации UML представлена на рис. 1.

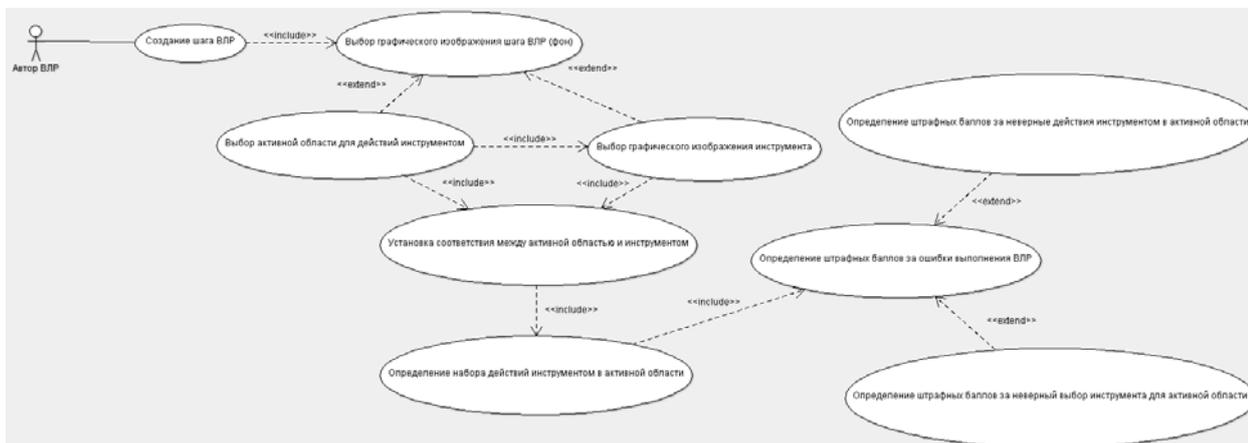


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования автоматизированной системы создания ВЛР в нотации UML

Методика построения ВЛР включает в себя следующие этапы:

- 1) создание шага ВЛР;
- 2) выбор графического изображения шага ВЛР (фон);
- 3) выбор активной области (набора активных областей) для действий инструментом;
- 4) выбор графического изображения инструмента (набора инструментов);
- 5) установка соответствия между активной областью и инструментом;
- 6) определение набора действий инструмен-

том в активной области;

7) определение штрафных баллов за ошибки выполнения ВЛР:

- а) определение штрафных баллов за неверные действия инструментом в активной области;
- б) определение штрафных баллов за неверный выбор инструмента для активной области.

Данные этапы выполняются при создании каждого шага ВЛР.

Порядок выполнения учащимся ВЛР представлен на рис. 2.

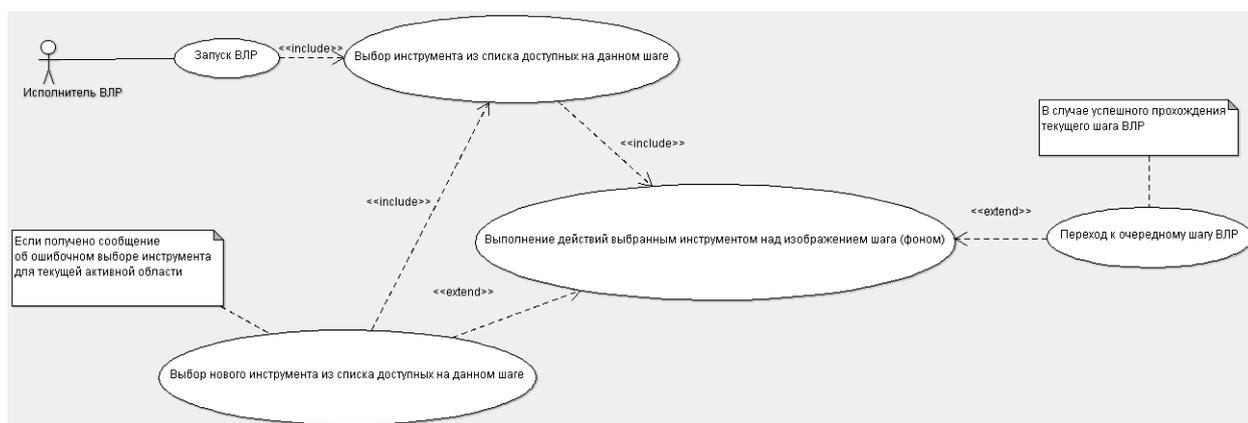


Рис. 2. Порядок выполнения ВЛР в нотации UML

Порядок выполнения ВЛР включает в себя следующие этапы:

- 1) запуск ВЛР;
- 2) выбор инструмента из списка доступных

на данном шаге инструментов;

3) выполнение действий выбранным инструментом над изображением шага (фоном);

4) переход к очередному шагу ВЛР (в случае

успешного прохождения текущего шага ВЛР);

5) выбор нового инструмента из списка доступных на данном шаге инструментов (если получено сообщение об ошибочном выборе инструмента для текущей активной области) и повторение этапа 3.

Описанная в данной статье методика позволяет преподавателям создавать ВЛР без участия технических специалистов. Отметим также, что использование методики требует наличия заранее подготовленных 2D-изображений фона шагов и инструментов, что является необходимым ограничением универсальной автоматизированной системы создания интерактивных средств обучения. Разработанные таким образом виртуальные лабораторные работы могут быть использованы для приобретения учащимися знаний в последовательно выполняемых процессах (например, обучение интерфейсам программного обеспечения, обучение работе с техническими устройствами; хирургические доступы [3] и др.). Апробация ВЛР проходила на примере виртуальной работы для хирургического доступа к аппендиксу [4].

УДК 519.876.5

Н. П. Садовникова, А. С. Киктев

ПРИМЕНЕНИЕ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СЦЕНАРИЕВ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: npsn1@yandex.ru, kiktev@inbox.ru

Рассмотрены вопросы использования агентного подхода в задачах стратегического планирования. Определены подходы к построению моделей поведения агентов и формированию сценариев развития.

Ключевые слова: имитационное моделирование, агентный подход, сценарный подход, стратегическое планирование, сценарий развития.

N. P. Sadovnikova, A. S. Kiktev

APPLICATION OF AGENT-BASED MODELING FOR CONSTRUCTION SCENARIOS OF STRATEGIC DEVELOPMENT

Volgograd State Technical University

The questions of using the agent-based approach in tasks of strategic planning have been contemplated. The approaches to the construction of behavior of agents and formation scripts of development have been defined.

Keywords: simulation modeling, agent-based approach scenario approach, strategic planning, script of development.

Вопрос эффективности стратегического планирования является важным и актуальным как на уровне отдельных предприятий и отраслей, так и регионов и страны в целом. Возможность оценки вероятных вариантов развития различных систем позволяет сформировать стратегию поведения, обеспечивающую оптимальные параметры функционирования и необходимый

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разработка виртуальных тренажеров путем моделирования технологических процессов пищевых производств с использованием языка программирования LabVIEW [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа : <http://lab-centre.ru/mess175.htm>

2. *Матлин, А. О.* Интерактивные средства обучения в образовательном процессе / А. О. Матлин, С. А. Фоменков // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6(66) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 8). – С. 110–111.

3. *Матлин, А. О.* Построение автоматизированной системы создания интерактивных тренажеров / А. О. Матлин, С. А. Фоменков // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11(71) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 57–59.

4. Интерактивные виртуальные медицинские тренажеры / А. О. Матлин [и др.] // VI Всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» : сб. тр. – М., 2009. – С. 122–123.

уровень ресурсного потенциала. В условиях неопределенности и вариативности исследуемых траекторий развития сложноструктурированных систем наиболее эффективны методы, позволяющие оценивать множество возможных состояний и выбирать подходящие альтернативы управления. Такие требования обеспечивают методы сценарного планирования. Как науч-

ный метод прогнозирования этот подход сформировался еще в 50–70-х гг. XX века. В последнее время интерес к нему постоянно растет. Совершенствуются механизмы формирования сценариев и оценки возможных стратегий управления. Осваиваются новые сферы применения. Наиболее неоднозначным и сложным этапом стратегического планирования на основе сценарного подхода является этап формирования сценариев. В связи с этим большинство методов, используемых на практике, направлены на оценку возможных стратегических решений, тогда как вопросам формирования альтернатив не уделяется должного внимания.

Целью данной работы является исследование механизмов формирования сценариев в задачах стратегического планирования и разработка методологии построения агентных моделей, позволяющих генерировать различные альтернативы развития, учитывающие неопределенность внешней среды и вариативность параметров, определяющих поведение агентов.

Сценарное планирование представляет собой множество направлений и методов, которые можно использовать в разнообразных контекстах разными способами и с различными целями. При разработке сценариев применяются многочисленные методы прогнозирования, в частности: методы генерирования идей; ситуационный анализ; трендовый анализ; экспертные методы. Однако практически единственным методом, позволяющим не только формировать различные структуры модельных сценариев, но и количественно оценивать планируемые показатели, является имитационное моделирование.

На сегодняшний день для построения имитационных моделей используют динамическое моделирование, дискретно-событийное моделирование, системную динамику и агентное моделирование. Все эти подходы обеспечивают возможность описывать поведение моделируемой системы, анализировать и предсказывать будущие состояния с учетом влияния различных факторов (как внутренних, так и внешних). Построение сценариев развития с использованием методов системной динамики давно и успешно используется для решения задач стратегического планирования [1]. С помощью моделей системной динамики можно установить взаимовлияние системообразующих факторов и отследить тенденцию изменения исследуемых параметров. Так как структура модели задается

жестко, отследить ситуации, связанные с появлением новых факторов или изменением структуры связей на такой модели, практически невозможно. Подходы, базирующиеся на принципах агентного моделирования (agent-based model, АВМ), являются более гибкими и позволяют имитировать поведение систем любой сложности с переменной структурой и возможностью адаптации к изменениям внешней среды.

Несмотря на большое число публикаций, свидетельствующих о преимуществах агентного моделирования и практически неограниченном потенциале, практика использования в решении реальных управленческих задач весьма невелика. Связанно это, прежде всего, с трудоемкостью процесса построения модели, особенно на этапе постановки задачи и формализации. Для выработки адекватных управленческих и технологических решений исследуемые системы должны оцениваться по множеству факторов, часть из которых не может быть оценена количественно. Исключение из рассмотрения качественной информации, источником которой, зачастую, является богатый опыт и интуиция квалифицированных специалистов, в значительной степени влияет на адекватность модели, существенно упрощая ее, что ведет к снижению достоверности получаемых результатов. В связи с этим особую актуальность приобретает вопрос о формировании информационной базы агентных моделей.

Для реализации механизма поведения агента необходимо описать сложные процессы принятия решений, которые содержат множество элементов и связей. Информацию, необходимую для описания модели поведения интеллектуальных агентов, как правило, получают от экспертов. Для адекватного представления знаний экспертов необходимо обеспечить возможность построения структурированных выводов, на основе онтологического анализа эффективных по механизму действия средств в условиях неопределенности исходной информации [2].

Рассмотрим задачу формирования сценариев развития предприятия, занимающегося предоставлением телекоммуникационных услуг. В качестве возможных направлений развития выбраны:

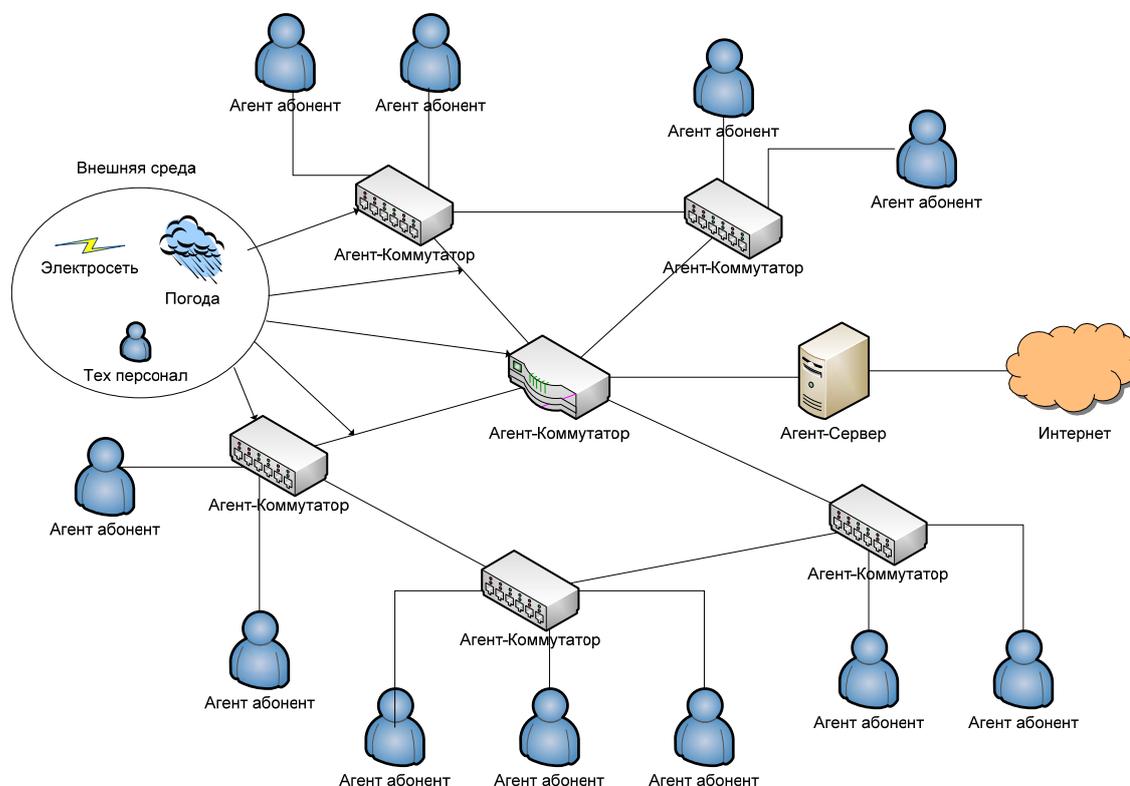
- 1) расширение сети передачи данных; установка новых устройств, вызванная увеличением числа подключающихся абонентов, «подключением» новых районов города;
- 2) модернизация сети передачи данных;
- 3) ввод новых тарифных планов;

- 4) ввод новых типов услуг;
- 5) внедрение новых технологий.

В качестве критериев эффективного развития предприятия можно выбрать увеличение прибы-

ли и обеспечение должного качества услуг.

Для генерации сценариев и оценки возможных альтернатив построена модель, отображенная на рисунке.



Агентная модель

Представленная модель позволяет определять интенсивность абонентского трафика и возможные загрузки каналов связи, обеспечивает возможность оценки последствий нештатных ситуаций, связанных с изменением параметров функционирования и параметров, характеризующих воздействия внешней среды. Наряду с задачами стратегического планирования модель может использоваться в качестве инструментального средства для обучения менеджеров. На ее основе может быть разработана компьютерная деловая игра [3] для отработки новых принципов управления, оценки результатов изменения бизнес-политики. Возможность имитации различных ситуаций и быстрой оценки принимаемых решений позволит оперативно анализировать эффективность принимаемых решений.

Агенты-абоненты имитируют абонентов реальной сети передачи данных, которым предоставляется спектр услуг интернет-провайдера, поэтому они создают различную интенсивность нагрузки. Абоненты могут быть сгруппированы

по следующим признакам: используемые тарифные планы и услуги, возраст, профессиональная деятельность. Поведение агентов-абонентов каждой группы задается набором характеристик: максимальной скоростью передачи данных, средним объемом передаваемого трафика за сутки, характером активности абонента в течение суток.

Разбиение агентов-абонентов по группам дает возможность более детально учесть в модели особенности поведения абонентов (что, в свою очередь, приводит к более точным результатам моделирования).

Агент-абонент является интеллектуальным интенциональным агентом, поведение которого основано на внутренних механизмах мотивации. Например, молодые люди в возрасте 15–20 лет используют интернет вечером в течение продолжительного времени, преимущественно смотря видео-ролики и общаясь в социальных сетях. Люди в возрасте 40–50 лет выходят в интернет, в основном, проверить почтовый ящик и посетить новостные сайты в течение непродолжительного времени.

должительного времени. Таким образом, агент-абонент генерирует сетевой трафик, согласно временной модели своей активности в сети интернет.

Агенты-коммутаторы имитируют работу коммутаторов сети передачи данных. Агенты-коммутаторы могут быть сгруппированы по следующим признакам: типам устройств, времени их эксплуатации, адресам расположения. Поведение агентов-коммутаторов каждой группы задается набором характеристик: количеством абонентских портов, количеством и пропускной способностью транковых портов (данные порты предназначены для взаимодействия с другими агентами коммутаторами), степенью отказоустойчивости (чем дольше коммутатор работает, тем вероятнее выход его из строя), оперативностью работы сотрудников по техническому обеспечению сети (время замены коммутатора, вышедшего из строя; время восстановления электропитания). Внешняя среда (электросеть, погода и человеческий фактор) на поведение агента может влиять следующим образом: аварийное отключение электропитания по определенным адресам приводит к остановке деятельности агентов-коммутаторов, находящихся в данной группе адресов; обрывы линии связи между коммутаторами влияет на перераспределение объема трафика между агентами-коммутаторами. В свою очередь, остановка работы коммутатора приводит к остановке работы агента-абонента (абонент теряет доступ к услуге).

Агент-коммутатор является простым рефлекторным агентом. Данный агент, получая информацию из агентной среды о имеющихся связях с другими агентами-коммутаторами, распределяет трафик, полученный от агентов-абонентов.

Агент-сервер имитирует работу сервера авторизации абонентов и организации их доступа к сети интернет. Поведение агента-сервера определяется следующими характеристиками: про-

пускной способностью внешнего канала доступа к интернету; наличием активных бонусов к тарифным планам абонентов, увеличивающих их скорость доступа к сети интернет; состоянием баланса лицевого счета у абонентов (блокировка доступа к услуге при отрицательном балансе, открытие доступа к услуге при пополнении счета).

Агент-сервер также является простым рефлекторным агентом. Он выбирает действие, основываясь на текущем акте восприятия. Агент-абонент пытается подключиться к сети интернет, посылая агенту серверу запрос на подключение. Агент-сервер, в свою очередь, основываясь на состоянии лицевого счета, определяет, открывать абоненту доступ в интернет или нет.

В ходе исследования бала рассмотрена возможность применения агентного подхода для генерации сценариев развития предприятия. Рассмотрены механизмы поведения агентов, позволяющие запоминать и анализировать различные ситуации при анализе стратегий развития. Разработан прототип мультиагентной имитационной модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбунов, А. Р. Проблемы, актуальные задачи и приоритеты в создании систем поддержки принятия решений и применении имитационного моделирования в сфере управления и бизнеса / А. Р. Горбунов, Н. Н. Лычкина // Имитационное моделирование. Теория и практика : мат-лы конф. – СПб., 2007. – Т. 1. – С. 27–36.
2. Садовникова, Н. П. Концептуальная модель процесса поддержки принятия решений в условиях неопределенности исходной информации на основе онтологического подхода / Н. П. Садовникова, Ю. С. Львова, Б. Х. Санжапов // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 185–187.
3. Садовникова, Н. П. Проектирование интерактивной компьютерной деловой игры «Динамическое планирование производственной деятельности предприятия» / Н. П. Садовникова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 2(28) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 2). – С. 85–87.

УДК 004.623

*О. А. Сычев, А. А. Ерофеев***СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОДУЛЯ ASSIGNMENT
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ MOODLE
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОСНОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: oasychev@gmail.com, yerofeyev.aa@gmail.com

В статье рассматривается проблема проведения лабораторных работ по курсу «Основы программирования» и возможности применения модулей Assignment и Poasassignment СДО Moodle в этом курсе.

Ключевые слова: система дистанционного обучения, Moodle, индивидуальные задания, проверка заданий, основы программирования.

*О. А. Sychev, A. A. Yerofeyev***IMPROVING OF ASSIGNMENT MODULE FOR Learning Management
AUTOMATED SYSTEM MOODLE IN BASICS OF PROGRAMMING COURSE****Volgograd State Technical University**

E-mail: oasychev@gmail.com, yerofeyev.aa@gmail.com

In article the problem of laboratory works for the course «Basics of programming» is presented. The possibilities of using Poasassignment and Assignment modules for LMS Moodle in the course are described.

Keywords: learning management system, Moodle, individual tasks, basics of programming.

Введение

Всем группам первого курса факультета ЭВТ ВолгГТУ во втором семестре читают курс «Основы программирования». Дисциплина включает в себя лекции, семинары, лабораторные работы и завершается экзаменом. Для поддержки курса используется ресурс edu.vstu.ru [4], на котором установлена система дистанционного обучения Moodle. Через этот ресурс студенты получают лекции, задания на лабораторные, сдают экзамен [3; 5].

На каждой лабораторной работе студент выбирает себе задание и пишет программу. Задания отличаются сложностью и тематикой. Проверяется программа лично преподавателем, путем проведения тестов. Этот процесс недостаточно автоматизирован.

Конечно, в Moodle есть возможность выдать задание студентам и отслеживать его выполнение, но только если задание для всех студентов общее. Более того, сторонними разработчиками созданы несколько модулей, расширяющих функционал стандартной поставки Moodle, но ни один из этих модулей не позволяет управлять индивидуальными заданиями студентов.

В числе таких аналогов модули Random Assignment, Virtual Programming Lab и Online Judge.

Модуль Random Assignment позволяет преподавателю загрузить на сайт набор файлов, и затем каждый студент получит один из этих файлов как задание.

Модули Virtual Programming Lab и Online Judge не позволяют создавать индивидуальные задания для студентов, их главная особенность – возможность компилировать и проверять программы студентов.

Модуль assignment

Возможность следить за ходом выполнения общего задания обеспечивает модуль assignment (Задание) [1]. Он поддерживает следующие этапы работы студента с заданием:

- начиная с определенной даты (даты открытия) студентам виден текст общего задания;
- студенты загружают решение (используя загрузку файлов или вводя текст в форму ответа на сайте);

- преподаватель просматривает работу студента и выставляет на сайте свою оценку. Эта оценка видна студенту; он знает свой результат.

Помимо невозможности создания разных заданий для студентов [6], в модуле присутствуют и другие недостатки: единая оценка для работы студента и сложность в модификации кода модуля.

Первая проблема состоит в том, что преподаватель должен оценивать всю работу студента сразу. В работе нельзя выделить некоторые критерии, по которым бы проводилось оценивание, а итоговый балл потом вычислялся бы модулем на основе нескольких оценок.

Следующий недостаток – архитектура мо-

дуля. Assignment может быть расширен, в стандартную поставку Moodle входят сразу четыре версии модуля. Все компоненты тесно связаны друг с другом и неотделимы. Сильная связность ведет к тому, что нет возможности комбинировать расширения модуля друг с другом.

Например, нет возможности объединить загрузку ответа в виде текста и механизм черновиков (когда студент не уверен в ответе но хочет, чтобы преподаватель посмотрел его). Выделение наиболее важных компонент в отдельные подключаемые плагины могло бы решить эту проблему.

Модуль poassignment

Вместо одного компонента, отвечающего за все этапы работы с заданием, новый модуль разбит на несколько подключаемых компонент и ядро. Подключаемыми компонентами являются:

- стратегии выдачи заданий;
- типы ответов студентов;
- страницы модуля;
- плагины автоматической проверки работ.

Ядро модуля состоит из следующих компонент:

- система управления критериями;

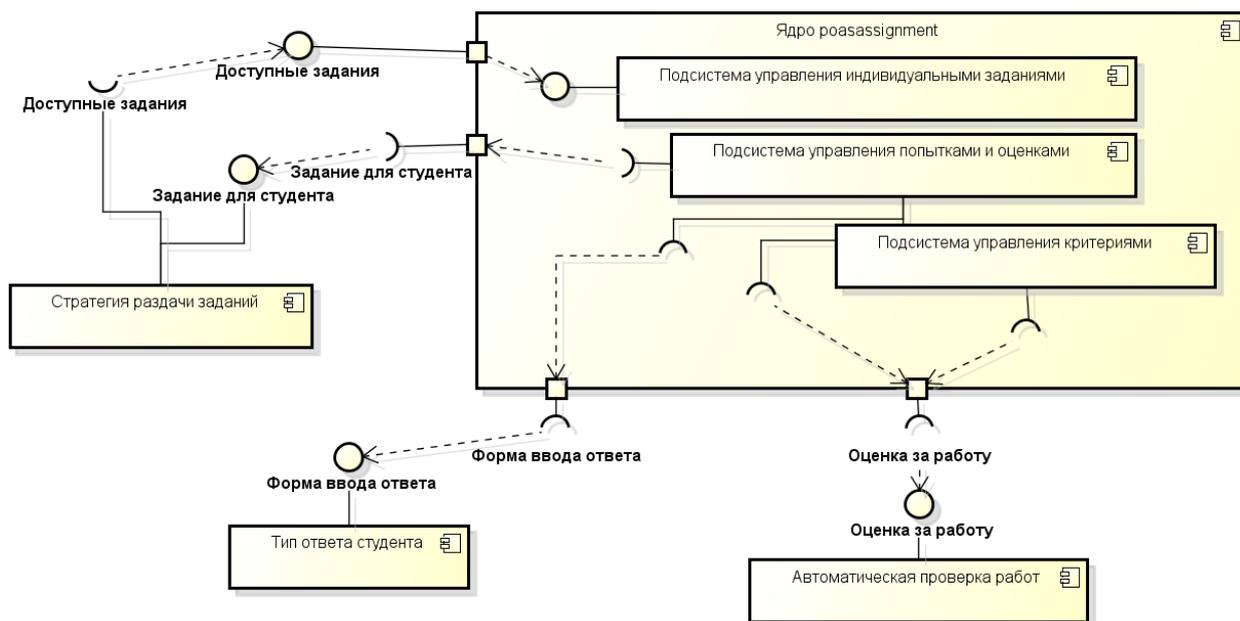


Диаграмма компонент для модуля poassignment

- система управления заданиями и полями заданий;
- система управления ответами и оценками.

Стратегии выдачи заданий

С введением нового понятия «индивидуальное задание» появилась проблема, каким образом распределять задания между студентами. Ведь каждый преподаватель может по своему выдавать задания студентам. Это приводит к введению нового понятия – «стратегия выдачи заданий», – под которым понимается способ связывания заданий со студентами. Чтобы не повторять недостатки старой архитектуры, стратегии выделены в отдельные плагины, достаточно небольшие. Любая стратегия выдачи заданий может быть использована в любом экземпляре модуля.

В архитектуре нового модуля активно используется полиморфизм [2] – с любой страте-

гией ядро модуля взаимодействует одинаковым образом. Это достигается за счет того, что каждый класс стратегии должен быть унаследован от абстрактного класса стратегий.

Например, стратегия используется на странице со списком заданий. У каждой стратегии есть возможность (через соответствующие методы родителя) выполнить свой код перед выводом заданий, после вывода заданий, а также добавить любой HTML-код к каждой строчке таблицы заданий.

Разработаны три стратегии выдачи заданий.

1. Стратегия случайного выбора.

Когда студент заходит на страницу заданий, чтобы осуществить выбор, стратегия выбирает случайным образом одно из свободных заданий и приписывает его студенту.

Данная стратегия выгодно отличается от плагина «Random Assignment» тем, что позволяет выдавать студентам в качестве задания не

только файлы, но и обычный текст на веб-странице. «Random Assignment» совершенно не контролирует процесс выдачи заданий студентам, одно и то же задание могут получить и десять студентов – уникальность получаемых заданий никак не проверяется. Использование стратегии целесообразно, когда не имеет большого значения, какой студент какое задание получит. При этом пожелания студентов никак не учитываются.

2. Стратегия выбора задания по параметру

В каждом экземпляре модуля преподаватель настраивает таблицу заданий, добавляя к заданиям определенные поля. В случае с дисциплиной «Основы программирования» – это поле «коэффициент сложности задания» (число в диапазоне от 0.6 до 1.4, которое обозначает сложность выполнения модификации к заданию). Это поле преподаватель может пометить как «параметр поиска». В таком случае, на странице заданий студент увидит форму, напоминающую обычную форму для поиска товара в интернет-магазине. Указав желаемую сложность, студент получит то задание, которое максимально соответствует его запросам.

Использование стратегии целесообразно тогда, когда нежелательно давать студентам возможность получать какое-то конкретное задание.

3. Стратегия самостоятельного выбора

У каждого задания выводится кнопка «Взять задание». Нажав на кнопку, студент припишет выбранное задание к своей учетной записи.

Применение стратегии целесообразно в тех же случаях, в каких применяется плагин случайного задания.

Типы ответов студентов

У модуля assignment есть четыре основных реализации, которые отличаются именно типом ответа. Это ответ в виде текста, файла, нескольких файлов и offline-ответ. Невозможно создать задание с типом ответа «файл», а через некоторое время изменить его на «текст», потому что это, по сути, разные модули.

Чтобы устранить этот недостаток архитектуры assignment, в отдельный подключаемый плагин выделен тип ответа студента. Таким образом, становится возможным менять тип ответа в созданном экземпляре модуля, даже если в нем уже есть ответы студентов.

В архитектуре этого плагина использовался тот же подход, что и при разработке стратегий – каждый плагин является классом, кото-

рый унаследован от абстрактного класса типа ответа.

Разработано два типа ответа студентов – по аналогии с оригинальными разновидностями assignment (оригинальные версии «ответ в виде файла» и «ответ в виде файлов» объединены в один тип, а «offline-ответ» можно получить, не подключая ни один из типов ответа).

1. Текстовый ответ. На странице ответа плагин выводит форму ввода текста без форматирования.

Применение такого типа ответа целесообразно на данных экзаменационных занятиях.

2. Ответ в виде файла (файлов). На странице ответа плагин выводит форму для загрузки файлов. В настройках можно определить типы загружаемых файлов, количество и размер каждого загружаемого файла.

Применение такого типа ответа целесообразно, когда одного текста мало (ответ – это изображение, аудиозапись, видеозапись, материал в сети Интернет, программа и др.).

Страницы модуля

Страницы модуля реализованы как класс, но не как подключаемый плагин. Они не могут подключаться и отключаться, но выделение их в отдельный компонент упростило процесс разработки.

Для каждой страницы можно сказать, отображается ли она в боковой навигации Moodle, а также можно определить условия, при которых данная страница доступна пользователю. Говоря об условиях доступности, можно выделить три вида ограничений:

- ограничения прав доступа;
- ограничения, задаваемые настройками;
- ограничения, определяемые конкретными данными пользователя.

Например, ни один студент не может создавать задания, оценивать работы других студентов – это ограничение первого вида. Страница параметров стратегии выдачи заданий недоступна, если в модуле задание общее – это ограничение второго вида. Страница ответа недоступна студенту, пока он не возьмет задание – это ограничение третьего вида.

Методы проверки всех видов ограничений определены в абстрактном классе страницы модуля.

Чтобы добавить в модуль (а также и в навигацию) новую страницу, нужно лишь создать класс-наследник абстрактной страницы и внести запись о нем в список страниц в ядре модуля.

После этого страница сразу же становится доступна со стандартными настройками доступа.

Перспективы

Разработка модуля выявила многие недостатки стандартного модуля Assignment (такие, как неконтролируемая гибкость и сильная связность подсистем). При продолжении работ над модулем Poassignment он вполне сможет стать полноценной заменой стандартного модуля.

Модуль уже установлен на ресурсе edu.vstu.ru и используется в ряде лабораторных работ по курсу «Основы программирования». Использована стратегия выдачи заданий – «параметрическая»; параметром поиска для студентов является уровень сложности задачи. Каждое задание может взять только один студент из каждой группы.

В планах – создание плагина, который бы тестировал программы студентов прямо на сервере. Тестирование будет проводиться по принципу «черного ящика», когда в тестах к программе определены входные и выходные данные. Наибольшая сложность при создании такого плагина – грамотная защита сервера при выполнении программ студентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Assignment module [Электронный ресурс]. – [2011]. – Режим доступа : http://docs.moodle.org/20/en/Assignment_module
2. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++ / Г. Буч. – СПб. : Невский Диалект, 1998. – 560 с. : ил.
3. Дворянкин, А. М. Применение автоматизированного тестирования на лабораторных работах / А. М. Дворянкин, И. Г. Жукова, О. А. Сычев // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 7 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Сер. Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе. Вып. 4). – С. 166–168.
4. Литовкин, Д. В. Организация работы студентов на теоретических занятиях с использованием мультимедийных презентаций / Д.В. Литовкин, О.А. Сычев // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 8 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Сер. Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе. Вып. 7). – С. 122–123.
5. Сычев, О. А. Использование СДО MOODLE для поддержки очного образования в Волгоградском государственном техническом университете / О. А. Сычев, И. Г. Жукова // Информационные технологии в науке и образовании : матер. междунар. науч.-практ. интернет-конф. (ноябрь 2006 – март 2007) : матер. семин. «Применение MOODLE в сетевом обучении» (28–30.03.2007) / Юж.-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса [и др.]. – Шахты, 2007. – С. 24.
6. Сычев, О. А. Модуль выдачи заданий MultiExercise для системы дистанционного образования Moodle / О. А. Сычев, Х. А. Нгуен // Прогрессивные технологии в обучении и производстве : мат-лы IV Всерос. конф., г. Камышин, 18–20 октября 2006 г. / КТИ (фил.) ВолгГТУ [и др.]. – Камышин, 2006. – Т. 2. – С. 174.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

УДК 519.8(075.8)

Л. Н. Бутенко, Е. И. Гонжал

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ ИДЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: butenko@vstu.ru, johngonzhal@gmail.com

В статье рассматривается совершенствование внешнего проектирования технических систем на основе закономерностей их развития. На основе концептуального анализа получено интенциональное определение идеальной системы. С позиции системологии предлагаются направления идеализации реальных систем. Показано, какой инструментарий можно привлечь для конструирования идеальной системы.

Ключевые слова: идеальная система, идеализация, концептуальный анализ, экстенционал, интенционал.

L. N. Butenko, E. I. Gonzhal

THE DEVELOPMENT PROCESS OF TECHNICAL SYSTEMS IDEALIZATION

Volgograd State Technical University

The article describes the improvement of the external designing of technical systems based on patterns of their development. The intensional definition of an ideal system has been defined on the basis of conceptual analysis. The direction of real systems' idealization are supposed to be described in terms of the systemology. It is shown what tools can be involved in designing an ideal the system.

Keywords: the ideal system, idealization, conceptual analysis, extensional, intension.

В связи с тем что в настоящее время постоянно повышаются требования к срокам и эффективности проектирования технических систем (ТС), особенно актуальными становятся вопросы управления качеством получаемых решений еще на ранней стадии разработки. Для этого необходимо совершенствовать этап внешнего проектирования системы.

Целью работы является повышение эффективности управления на стадии концептуального проектирования ТС за счет использования закономерностей их развития.

Разработка сложной системы разбивается на два этапа: «внутреннее» и «внешнее» проектирование [1]. Первый связан с разработкой технического и рабочего проектов, которые служат основными документами для изготовления ТС на производстве; второй направлен на генерацию и разработку общей идеи системы, ее исследование с помощью теоретических средств, принятие концептуальных решений по стадиям: функциональной структуры, принципа действия, семантического решения и основных

параметров ТС [2]. На этапе внешнего проектирования устанавливаются принципиальную возможность и целесообразность создания машины, исходя из процессов в надсистеме [3].

В настоящее время известен массив закономерностей развития ТС [4], интегралом которых является процесс идеализации. Для их использования необходимо определить инвариантные требования к создаваемой системе, которые бы максимизировали показатели ее эффективности при минимизации затрат на ее создание. В некотором смысле нужно определить те свойства системы, которые делают ее «идеальной». Для этого нами был проведен концептуальный анализ понятий «система» и «идеальная система»; использовались методы, развиваемые в настоящее время школой С. П. Никанорова; А. Г. Теслиновым, В. И. Разумовым [5; 6; 7].

В данной работе для концептуального анализа понятий был применен метод интенционалов и экстенционалов [8]. В результате сначала был сформулирован концепт понятия системы.

Система – это регулярное упорядоченное единство конечного числа элементов (вместе с их признаками и атрибутами) устойчиво взаимосвязанных, взаимодействующих в пространстве и времени, действующее как целостная единица, подчиненная общей цели, принимающее входные потоки вещества, энергии и информации, генерирующее выходы путем действий над ними и управления ими.

Концепт понятия «идеал»:

Идеал – наилучшее, завершенное, лаконичное, оптимальное, гармоничное состояние чего-либо, общее, универсальное, эталон характеристик, при отсутствии недостатков и, как следствие, не нуждающееся в улучшении.

На основе созданных концептов был сформулирован концепт понятия «идеальная система».

Идеальная система – завершенное состояние, высшая степень развития системы, не нуждающаяся в улучшении, наилучшая система для решения поставленной задачи, в которой обеспечивается гармоничное единство элементов, отсутствуют недостатки, реализуются все функции, полностью достигается цель за минимальное время, обладающая универсальностью и максимально простая по составу элементов и процессов.

Используя данное определение, можно выделить свойства идеальной системы: целостность; гармоничность; отсутствие недостатков; развитый функционал; целенаправленность; универсальность; внутренняя и внешняя адаптация; устойчивость; минимальный состав элементов; минимальный состав процессов.

Формально, в соответствии с представлениями системологии [9], идеальная система может быть представлена в следующем виде:

$$O = (\{(a_i, A_i) | i \in N_n\}, \{(b_j, B_j) | j \in N_m\}), \quad (1)$$

где O – идеальная система; a_i, A_i – соответственно, свойство и множество его проявлений; b_j, B_j – база и множество ее элементов; $N_n = \{1, 2, \dots, n\}$ и $N_m = \{1, 2, \dots, m\}$.

Теоретико-множественное представление по (1) позволяет структурировать понятие «идеальной системы»: по каждому свойству может быть выделено направление идеализации системы и способы ее достижения. Таким образом, понятие идеальной системы делается более широким и содержательным, чем известные ранее [4].

Для описания процесса проектирования идеальной системы можно использовать уровни представления знаний, предлагаемые систе-

мологией. В системологии выделяется пять уровней представления знаний [9]:

На уровне 0 вводятся понятия прикладной области и определяются интенционалы этих понятий (т. е. их смысл, или семантика). На этом уровне формируются модели данных объектов, соответствующих понятиям.

На уровне 1 формируется система данных, с помощью которой описываются множества экземпляров объектов, необходимых для функционирования разрабатываемой системы. Каждое такое множество представляет собой выборку из объема соответствующего понятия, который может быть бесконечным. Носителем моделей на уровне 1 являются допустимые множества значений свойств объектов.

Уровень 2 необходим для формирования порождающих систем. На нем располагаются методы объектов, описанных на предыдущих уровнях. Метод позволяет превратить объект в объект-функцию, способную по известным значениям свойств объекта порождать значения неизвестных свойств. При этом происходит генерация нового экземпляра объекта, который может быть сохранен в системе данных.

В зависимости от типа свойств, переменных и функциональных отображений порождающие системы целесообразно разбить на три подуровня: математический негеометрический; геометрический; экспертный.

На уровне 3 описанные выше системы рассматриваются как подсистемы общей системы. Соединения таких подсистем производятся с помощью общих переменных, которые позволяют сформировать структурированную систему.

На уровнях 4 и выше располагаются системы, составленные из систем, определенных на низших уровнях. Эти системы носят название *метасистем*. В качестве носителя модели на этих уровнях выступают активные объекты, или агенты, из которых формируются концептуальные И/ИЛИ графы. С помощью таких графов осуществляется структурно-параметрический синтез проектируемых изделий и технологических процессов.

Это иерархическое представление, которому должна удовлетворять идеальная система в каком-либо выделенном частном направлении, требует определения характера порождающих систем, с помощью которых можно осуществить синтез частных «идеальных систем». Их специфика определяется выбором того или иного свойства идеальной системы из сформулированного выше набора свойств.

В настоящее время для получения не одного, а массива проектных решений рациональнее использовать методы системно-морфологического подхода. Наиболее разработанным в этом направлении является метод, предложенный В. М. Капустяном [10]. Для управления процессом синтеза ТС (в нашем случае «идеальной ТС») предлагается описывать область синтеза с помощью комбинаторного файла, представляющего собой дерево блоков создаваемой системы.

Под *деревом блоков* ТС понимается графический образ, получающийся накладыванием друг на друга различных оснований членения – факторов, из-за которых приходится по-разному разделять систему на части.

Альтернативы отражают все локальные, исключаящие друг друга, варианты взаимной подмены блоков при проектировании.

Совокупность всех мыслимых альтернатив формально порождает множество комбинаций, а отношение комбинантности ограничивает это множество и показывает, что на самом деле завидомо невозможно, а что следует еще испытать.

Для фиксации парных комбинант используется матричный способ: в матрице входной столбец образован номерами альтернативы одной линейки, входная строка – номерами другой. На пересечении строки и столбца матрицы ставится «1», если соответствующая пара разнородных альтернатив комбинантна (допустима), в противном случае – 0. Если сведений о комбинантности нет, ячейка остается заполненной знаком @.

Ряды или серии функционально эквивалентных объектов, процессов или способов называются *альтернативными линейками*.

Комбинаторный файл – это список лексикографически упорядоченных записей. Он описывает некоторое семейство «идеальных» систем.

Комбинаторный файл составляется следующим образом. Начиная с самой системы в целом, для каждого блока отвечают на два вопроса: есть ли качественно иные варианты (альтернативы) строения для данного блока; из каких частей (подблоков) состоит блок.

Этот процесс продолжается до тех пор, пока по всем блокам не дойдут до тупиковых – когда дальнейшая детализация невозможна. Таким образом формируется полное иерархическое дерево возможного строения системы.

Двигаясь сверху вниз по данной иерархии и выбрав из каждой альтернативной линейки лишь одну альтернативу, получают дерево бло-

ков некоторой, возможно осуществимой проектной комбинации.

Дерево блоков дополняется по мере появления новых альтернатив. Комбинаторный файл может быть составлен как для элементов, так и для функций и связей.

Таким образом, комбинаторный файл, сформированный для идеальной системы (при обязательном условии наличия в нем альтернатив), является порождающей системой.

На комбинаторном файле мы можем порождать системы по разным направлениям идеализации или по нескольким направлениям сразу.

В качестве примера приведем метод функционально-идеального моделирования (ФИМ) [11]. Метод осуществляет свертывание объекта, которое направлено на формирование как можно более идеальной ТС, имеющей минимальное число элементов при обязательном выполнении ими необходимых функциональных показателей.

Свертывание системы позволяет минимизировать количество проблемных задач исследуемого объекта за счет изъятия из системы элементов, имеющих функции с нежелательными эффектами. С изъятием элемента автоматически устраняется нежелательный эффект, а следовательно, и проблемная задача. Таким образом, осуществляется минимизация проблемных задач.

Затем выясняется, какие функции остались после удаления элементов; функции перераспределяются между элементами, в результате чего получается идеальная модель. К этой модели формируются требования, проводится их анализ, формулируются задачи и предварительные предложения по улучшению системы.

Таким образом, метод ФИМ «идеализирует» элементный и функциональный состав системы и является частным направлением относительно предлагаемой концепции, так как в нем не рассматриваются другие варианты идеализации.

В результате проделанной работы на основе концептуализации понятия идеальной системы предложено ее формализованное описание и выделены и системно обоснованы направления идеализации реальных систем с использованием основных системных свойств и закономерностей развития ТС. Для повышения управляемости проектирования предлагается использовать комбинаторный подход с построением иерархического комбинаторного файла как основы формирования порождающих систем для частных направлений идеализации создаваемых реальных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Степин, В. С.* Философия науки и техники : учеб. пособие для вузов / В. С. Степин, В. Г. Горохов, М. А. Розов. – М.: Контакт – Альфа, 1995. – 384 с.
2. *Бутенко, Д. В.* Концептуальное проектирование. Проблемы и методы / Д. В. Бутенко, Л. Н. Бутенко // Успехи современного естествознания : науч.-теорет. журн. – 2004. – № 5. – С. 247–249.
3. *Гхош, К. П.* Сравнительный анализ Case-средств / К. П. Гхош, Л. Н. Бутенко // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 12 (60) / ВолГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 35–39.
4. *Альтшуллер, Г. С.* Творчество как точная наука / Г. С. Альтшуллер. – М.: Советское радио, 1979.
5. *Никаноров, С. П.* Концептуализация предметных областей / С. П. Никаноров. – М.: Концепт, 2009. – 268 с.
6. *Теслинов, А. Г.* Концептуальное мышление в разре-

шении сложных и запутанных проблем / А. Г. Теслинов. – СПб.: Питер, 2009. – 288 с.

7. *Разумов, В. И.* Категориальный аппарат в современном естествознании / В. И. Разумов, В. П. Сизиков // Философия науки. – 2004. – № 1 (20). – С. 3–29.

8. *Карнап, Р.* Значение и необходимость. Исследование по семантике и модальной логике / Р. Карнап. – М.: ЛКИ, 2007.

9. *Евгенов, Г. Б.* Системология инженерных знаний : учеб. пособие для вузов / Г. Б. Евгенов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 376 с. (Сер. Информатика в техническом университете).

10. *Капустян, В. М.* Конструктору о конструировании / В. М. Капустян. – М.: Концепт, 2008. – 312 с.

11. *Герасимов, В. М.* Учет закономерностей развития техники при проведении функционально-стоимостного анализа технологических процессов / В. М. Герасимов, С. С. Литвин // Практика проведения функционально-стоимостного анализа в электротехнической промышленности / под ред. М. Г. Карпунина. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 288 с.

УДК 004.023

*А. М. Дворянкин, Р. Р. Романенко***ГЕНЕРАЦИЯ ИДЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ В ПРОГРАММИРОВАНИИ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: romanenkorr@gmail.com

Рассматривается применение метода гирлянд ассоциаций в решении задач при помощи алгоритма решения изобретательских задач.

Ключевые слова: алгоритм решения изобретательских задач, метод гирлянд ассоциаций, изобретательские задачи в программировании.

*A. M. Dvoryankin, R. R. Romanenko***IDEA GENERATION IN INVENTIVE PROBLEM SOLVING IN PROGRAMMING****Volgograd State Technical University**

Here is described an association garlands method's application in problems solved using algorithm of invention problems solving (ARIZ).

Keywords: ARIZ, a method of garlands associations, inventive problems in programming.

Поиск новых знаний и их материализация, т. е. изобретение новых объектов техники, значительно усложнились в условиях возросших темпов обновления технических средств и быстрого роста научно-технической информации.

Изобретательство – самая древняя и одновременно самая таинственная и малоизученная область деятельности человека. В течение десятков тысяч лет изобретательность считалась чем-то божественным, необъяснимым и неуправляемым. Благодаря человеческой изобретательности развивались цивилизации, возникали науки, техника и технологии, искусства, а сама изобретательность, ее природа не поддавались изучению.

Революцию в этой области совершил основоположник теории решения изобретательских

задач (ТРИЗ), инженер и изобретатель из Баку, Генрих Саулович Альтшуллер. В 1956 году он опубликовал совместно с Рафаэлем Борисовичем Шапиро первую статью о методике изобретательства. В статье впервые был сформулирован научный подход к изобретательской деятельности; его суть кратко можно выразить следующим образом: техника и технологии развиваются в соответствии с объективными закономерностями, которые можно выявить, изучить и сознательно применять для решения изобретательских задач. Для выявления таких законов развития были изучены история развития техники, огромный патентный фонд изобретений [1].

Инструменты ТРИЗ позволяют превратить сложные, непреступные на первый взгляд зада-

чи во вполне доступную, поддающуюся алгоритмизации деятельность. Барьер, который стоит между задачей и ее решением и который невозможно преодолеть за один раз, оказывается вполне преодолимым за несколько последовательных шагов – более простых и выстроенных в нужном для решения задачи направлении.

Основным объектом изучения в ТРИЗ до недавнего времени были технические системы (ТС). В последние годы методы ТРИЗ стали применяться и в других областях творческой (изобретательской) деятельности. Техника, бизнес, искусство, науки и научные представления, информационные системы – все эти и другие системы, независимо от того, материальные они или нет, развиваются по единым законам. Для решения возникающих в этих областях изобретательских задач можно использовать единые инструменты.

С развитием информационных технологий (ИТ) актуальной стала задача применения методов ТРИЗ для решения изобретательских задач в области программирования.

Современное развитие ИТ все больше зависит от качества и стоимости программных продуктов. Разработка же качественного программного обеспечения, в свою очередь, зависит от многих факторов. Симптомы кризиса программирования (отставание от графика, превышение сметы, неполное выполнение желаний заказчика и т. д.) хорошо знакомы всем разработчикам крупных проектов. Программное обеспечение обладает такими свойствами, как сложность, масштабируемость, изменяемость, абстрактность, нематериальность. Одним из инструментов совершенствования создания и развития программных продуктов на всех этапах жизненного цикла могут быть методы ТРИЗ [5].

Основной тезис ТРИЗ – решение изобретательских задач возможно только на основе последовательного, целенаправленного поиска при помощи методов и инструментов.

Условно методы можно разделить на две категории:

1) алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ) – инструмент, помогающий переформулировать текст исходной задачи или проблемы в ее решение;

2) методы и инструменты развития творческого воображения.

В данной статье будет рассматриваться преимущественно первая категория методов.

Алгоритм решения изобретательских задач – это ключевой инструмент ТРИЗ. АРИЗ появился как методика решения изобретательских задач уже в первых публикациях Г. С. Альтшуллера и Р. Б. Шапиро в 1956 году. Долгое время (до 1977 года) методика изобретательства так и называлась – АРИЗ. Только с появлением законов развития технических систем и других разработок возникло понятие ТРИЗ, а АРИЗ стал только частью этой теории. В АРИЗ входят все основные инструменты ТРИЗ, предназначенные для анализа задачи и поиска ее решения. При этом инструменты организованы в определенную систему, которая позволяет с каждым шагом уточнять суть проблемы, цели, ресурсы, возможные идеи решения [5].

Для решения изобретательских задач в нетехнических областях, в том числе и в области программирования, развития информационных технологий в 2010 году был разработан АРИЗ-Универсал-2010. Блок-схема АРИЗ-Универсал-2010 показана на рисунке.

В приведенной блок-схеме на шаге 2.2 учитываются две технологии:

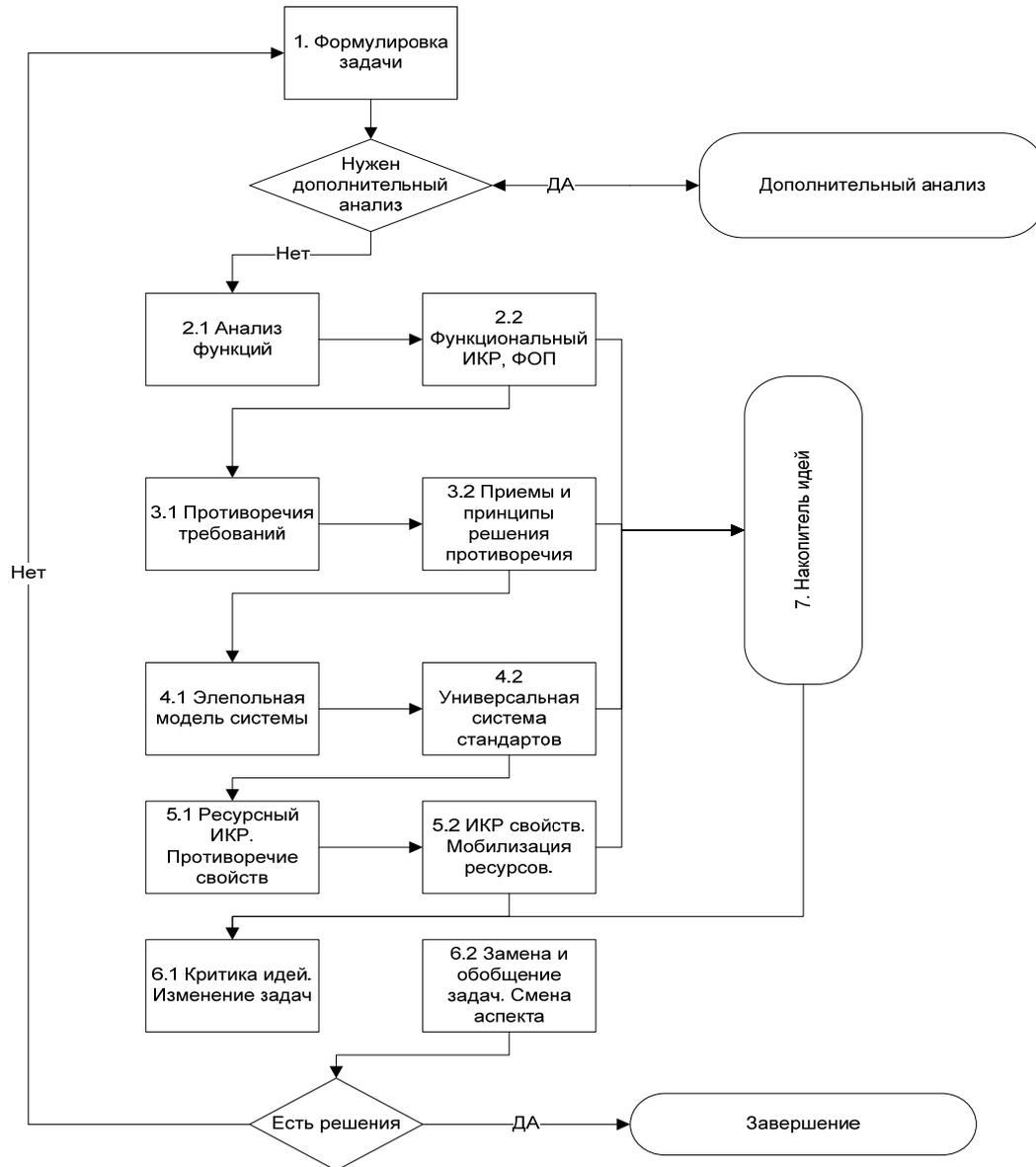
- 1) функционально-ориентированный поиск;
- 2) функциональный закон идеального конечного результата.

Функционально-ориентированный информационный поиск – это метод поиска информации в различных хранилищах, при котором область поиска выбирается на основе сходства функций улучшаемой системы и систем (а также их компонентов), относящихся к этой области.

Идеальный конечный результат – это закон, определяющий основное направление развития системы (стремление системы к нужному результату при наименьших затратах). Примером может служить понятие идеальной программы. Это программа, в которой нет ни строчки кода, но которая выполняет заявленный функционал.

Данные технологии являются эффективными и перспективными, но как развитие данного алгоритма можно предложить использовать на этом шаге, помимо этих технологий, методы развития творческого воображения. Эти методы дают возможность использования данного алгоритма не только одним изобретателем, но и группе изобретателей одновременно, при решении общей задачи.

Одним из интереснейших методов развития творческого воображения является метод гирлянд ассоциаций. Данный метод является развитием метода фокальных объектов.



Блок-схема АРИЗ-Универсал-2010

В основе обобщенной модели предметной области решения задачи построения гирлянды ассоциаций лежит формальная система, задаваемая в виде тройки

$$\langle A, P, G \rangle,$$

где A – конечный алфавит системы; P – конечный набор правил, по которым составляются гирлянды ассоциаций; G – конечное множество гирлянд ассоциаций

На первом этапе построения гирлянды ассоциаций для выбранного для анализа объекта определяется набор слов, характеризующих его свойства (это могут быть, например, прилагательные и глаголы).

На втором этапе определяется набор слу-

чайных объектов, образующих базу знаний для построения гирлянд ассоциаций. Для этих объектов также определяются наборы характеризующих их признаков.

Третий этап – это составление цепочки ассоциаций. Для анализируемого объекта выбирается свойство, и из списка случайных объектов по определенному правилу (частоте встречаемости свойства, равномерному случайному распределению или другому) выбирается объект, обладающий тем же свойством, что и исходный объект. После этого к цепочке присоединяется следующий элемент по тому же самому правилу. Этап завершается по достижении заданной длины цепочки, или невозможности добавить к гирлянде новый элемент.

Четвертый этап представляет собой генерацию новых идей. К анализируемому объекту присоединяют элементы гирлянды ассоциаций и их признаки.

На пятом этапе из получившихся сочетаний объектов и признаков выбираются наиболее рациональные варианты идей для дальнейшего использования [2].

Это общий алгоритм использования метода. При автоматизации данного метода создается словарь, в котором между объектами образуется связь. В зависимости от того, какой словарь применялся для обработки (синонимов, толковый, антонимов, словарь технических терминов и др.), получаем различные типы связей между объектами.

Метод гирлянд ассоциаций, после автоматизации, становится близок к функционально-ориентированному поиску. Данный метод дает возможность использовать не только функциональную связь между объектами, но и связи логические, семантические, смысловые.

Для примера возьмем задачу из учебного пособия М. С. Рубина, В. И. Кияева «Основы ТРИЗ и инновации». Задача звучит следующим образом: «Достаточно сложная и уникальная программа расчета размещалась для хранения в виде исполняемого файла в машинных кодах в месте, которое могло быть доступно сотрудникам института. Были опубликованы также результаты работы этой программы: исходные данные, результаты расчетов. Защищать программу паролем нельзя во избежание попыток его раскрытия. Как сделать так, чтобы доступной всем программой мог пользоваться только сам автор этой программы?» [5].

В процессе решения задачи с помощью АРИЗ-2010 было принято решение о создании управляемой ошибки на примере пароля внутри вводимых данных. Проанализировав рассуждения и выполнение шагов алгоритма, можно сделать вывод, что шаг 2.2 алгоритма АРИЗ-2010 является самым весомым (так как именно на нем появился запрос «ошибки при исполне-

нии программ»). Идеи, полученные на этом шаге, АРИЗ позволяет развить до рабочих решений.

При применении метода гирлянд ассоциаций для слова «доступ» получилась следующая цепочка: «доступ – дверь – ключ – вода – жидкость – пар – кипятик». В этой цепочке было найдено интересное словосочетание «доступ пар». Развитие данного словосочетания дало сочетание «выпаривать доступ». Дальнейшее развитие этой идеи привело к решению, при котором, чтобы получить доступ к программе, нужно запустить n раз приложение ($n \geq 2$); каждый такой запуск формирует часть дочернего приложения, которое выполняет расчет данных. Комбинируя решения полученные методом гирлянд ассоциаций и АРИЗ-2010, можно прийти к третьему варианту решения задачи. Пароль внутри вводимых данных указывает на то, сколько копий программы должно быть запущено, и на какой именно копии должна выполняться обработка данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Альтшуллер, Г. С. Творчество как точная наука / Г. С. Альтшуллер. – 2 изд. – Петрозаводск : Скандинавия, 2004. – С. 208.
2. Автоматизация поискового конструирования: искусственный интеллект в машинном проектировании / А. М. Дворянkin [и др.]; под ред. А. И. Половинкина. – М., 1981. – 344 с.
3. Матрица идей [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : <http://www.artlebedev.ru/tools/matrix/>
4. Методы поиска идей и создания инноваций [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа : <http://www.inventech.ru/pub/methods/>
5. Рубин, М. С. Основы ТРИЗ в инновации / М. С. Рубин, В. И. Кияев. – М.: Радио и связь, 2012. – 278 с.
6. Программа Creativity Machine выдумывает, изобретает и совершает открытия [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа : <http://www.membrana.ru/articles/inventions/2004/01/26/212000.html>
7. Свето-звуковая стимуляция [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа : <http://www.medsport.spb.ru/>
8. The Director Bureau Special Projects [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : <http://www.tdbspecial-projects.com/>

УДК 681.51, 004.31, 004.4

В. А. Егунов, М. И. Потанов

ТРЕХУРОВНЕВАЯ АРХИТЕКТУРА МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: vegunov@mail.ru, virrav@rambler.ru

Рассматривается концепция построения многоуровневой системы управления робототехническими комплексами; трехуровневая архитектура системы управления, структурная схема подобной системы.

Ключевые слова: робототехника, робот, мобильный робот, проектирование роботов, система управления роботом.

V. A. Egunov, M. I. Potanov

Three-level architecture of mobile robotic complexes

Volgograd State Technical University

The article examines the concept of building a multilevel system of control of robotic systems, is considered the three-tier architecture of the system management, structural scheme of this system.

Keywords: robotics, robot, mobile robot, the design of robots, robot control system.

Сегодня существует огромное количество роботов, которые заменяют человека в зонах повышенной опасности, будь то производственный цех или ликвидация техногенной катастрофы, избавляют от монотонного труда, делают нашу бытовую жизнь проще. Появляются все более и более совершенные модели, способные к анализу информации и принятию решений, распознаванию объектов и манипуляции ими. Однако если робот способен перемещаться, то подобные задачи выходят на качественно более высокий уровень [1; 2] (так, например, появляются необходимость обработки информации в реальном времени; задача ориентирования на местности; выбор оптимального пути движения и преодоления препятствий). И микропроцессоры зачастую не справляются в одиночку с поступающим объемом данных; их производительности становится недостаточно. Поэтому стали получать распространение распределенные системы управления робототехническим комплексом, которые несут на своем борту несколько процессоров.

В классическом варианте данные системы управления имеют центральный процессор, обрабатывающий информацию, поступающую от интеллектуальных модулей, задача которых лишь сбор и предобработка данных, и, как будет показано в данной работе, в подобных системах управления крайне сложно выделить четкую иерархию (как, например, в промышленных роботах). Кроме того, подобные системы управления всегда требуют уникальной архитектуры, которая ориентирована на проблематику решаемой роботом задачи. Подобные

разработки стоят огромных финансовых вливаний, из-за которых новые робототехнические комплексы становятся крайне дорогими.

Но что если создать универсальную распределенную систему управления, которой будет практически безразлично, какими исполнительными устройствами она управляет? Подобная система управления позволила бы строить мобильный робот из модулей, приспособленных к различным условиям, расширять возможности уже существующих модулей путем наращивания оборудования. В подобной системе модули имели бы свои микропроцессорные системы, решающие задачи собственной проблематики, что существенно бы снижало нагрузку на процессор. Таким образом, если разработать подобную универсальную архитектуру, то было бы необходимо для нее создавать лишь модули, ориентированные на работу в определенных условиях, что способствовало бы существенному уменьшению затрат на проектирование робототехнической системы.

Алгоритмы решения задач управления, будь то ориентирование на местности, распознавание объектов (и др.), часто построены на итерационных методах решения уравнений различной сложности. Таким образом, у процессора останется мало времени (или не останется совсем) на выполнение каких-либо других функций. Поэтому необходимо весь процесс управления разделить на части, которые будут способны выполнять отдельные процессоры.

Как правило, это – отдельные задачи управления различными узлами мобильного робота. Данный факт позволяет разделить мобильного

робота на отдельные модули, которые будут управляться внешними короткими командами, а сам процесс управления будет скрыт в локальной системе управления. В качестве обратной связи на верхние уровни управления будет отправляться лишь результат выполнения команды, а также текущее состояние модуля (например, положение приводов, состояние датчиков и т. п.). Это позволит распределить нагрузку по всей многопроцессорной системе, а также позволит различным модулям использовать результаты вычислений или текущее состояние других модулей.

Тогда модуль можно представить в виде традиционного «черного ящика» с входными (командами управления) и выходными (состояние, результаты вычислений) параметрами.

Плюсом такого представления станет непрочное связывание отдельных модулей между собой, а также возможность замены одних модулей на другие.

Минус подобной архитектуры в том, что предъявляются повышенные требования к информационным сетям, с помощью которых происходит обмен данными. К данным требованиям, безусловно, относятся отказоустойчивость, высокая скорость передачи данных, поддержка широким кругом микропроцессорных решений, возможность диагностики сети (а значит, и возможность представления состояний сети в виде конечного автомата).

Также необходимо правильно подойти к выбору микропроцессорного решения, способного обеспечить высокую производительность при малом энергопотреблении, и широкую поддержку различных сетей передачи данных.

Таким образом, мы получили группу модулей нижнего уровня с локальными системами управления. Теперь как же их представить в виде единого устройства? Нельзя же на каждый модуль ставить приемопередатчик, связывающий их с верхним уровнем управления. Данную проблему может решить модуль промежуточного уровня, назовем его управляющим вычислительным комплексом (УВК), который свяжет между собой нижние уровни и пульт управления.

УВК представляет собой интерфейс, который принимает всю информацию, поступающую от верхнего уровня, обрабатывает ее и отправляет ее одному из модулей нижнего уровня, а также принимает ответ модуля нижнего уровня о своем состоянии после выполнения команды и отправляет ее «наверх» для обработ-

ки. При этом средний уровень никак не интерпретирует полученную информацию от модуля нижнего уровня, а лишь следит за тем, чтобы не было нарушения протокола и ошибок при передаче данных. УВК будет выступать в роли master-устройства во внутренней сети с нижними уровнями и в качестве slave-устройства в беспроводной сети верхнего уровня.

Осталось определиться, как может выглядеть пульт управления. Здесь возможно несколько вариантов. Так как сеть беспроводная, то в качестве пульта управления может выступать любое вычислительное устройство, оснащенное оборудованием для взаимодействия в выбранной сети. Например, если использовать сеть Bluetooth, то пультом управления могут быть ЭВМ с Bluetooth-адаптером, смартфон, специально разработанный пульт управления, при условии, что они будут содержать программное обеспечение, которое позволит работать этим устройствам по определенному протоколу.

Что мы получаем в итоге? На приведенном ниже рисунке изображена возможная схема архитектуры мобильного робота.



Разработанная архитектура мобильного робота

К плюсам данной архитектуры можно отнести:

– гибкость архитектуры. Модули нижнего уровня не связаны между собой и могут под-

вергаться независимой модификации и заменяться другими;

– инкапсуляцию алгоритмов управления. Модули нижнего уровня могут разрабатываться сторонними производителями с их программным обеспечением внутри локальной системы управления. А управление ими происходит с помощью макрокоманд;

– возможность выбора наиболее подходящего к определенной задаче пульта управления.

К минусам относятся:

– повышенные требования к внутренней сети для обеспечения целостности устройства;

– сложность алгоритма передачи данных;

– сложность обеспечения гибкости программы верхнего уровня.

В качестве вывода можно сказать, что предлагаемая трехуровневая архитектура является техническим решением, которое позволяет проектировать эффективные системы управления робототехническими комплексами, имеющими в своем составе ряд исполнительных устройств. Данная архитектура позволяет менять

эти устройства (заменой системы управления модулем на нижнем уровне), изменять функциональность модуля (набор выполняемых операций путем добавления/изменения макрокоманд) и выполнять другие подобные изменения без необходимости перестройки системы управления в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егунов, В. А. Об управлении манипуляционным механизмом мобильного робота / В. А. Егунов, А. П. Жуков, М. И. Потапов // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (84) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 12). – С. 49–51.

2. Егунов, В. А. Об управлении транспортной системой мобильного робота / В. А. Егунов, А. П. Жуков, М. И. Потапов // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (84) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ Волг, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 12). – С. 51–53.

УДК 343.10, 004.78, 004.93

Е. Г. Кравец, Е. Ю. Попов**, А. Г. Кравец**, М. А. С. Аль-Ашваль***

ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ПРОВЕДЕНИЯ СЛЕДСТВЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ

**Волгоградская академия МВД России*

***Волгоградский государственный технический университет*

E-mail: agk@gde.ru

В статье рассматривается подход к реализации АС проведения следственных действий в режиме Интернет-конференции.

Ключевые слова: распознавание образов, потоковая аудио- и видеоинформация, шифрование трафика, Интернет-конференция.

E. G. Kravets, E. Yu. Popov**, A. G. Kravets**, M. A. S. Al-Ashval***

THE APPROACHE TO REMOTE INVESTIGATION ACTIVITIES SOFTWARE DEVELOPMENT

**Volgograd Academy of the Russian Internal Affairs Ministry*

***Volgograd State Technical University*

The paper considers the approache to software development for investigation activities in the mode of Internet conferencing.

Keywords: image recognition, streaming audio-video-information, traffic encryption, Internet conferencing.

Постоянное внимание, уделяемое социальной значимости правопорядка как результата реализации права и законности, призвано обеспечить, в частности, надлежащее существование, функционирование и поступательное развитие уголовного судопроизводства. Обновление уголовно-процессуального законодательства, связанное с происходящими в России преоб-

разованиями, ставит перед судопроизводством новые задачи, ориентирует на необходимость поиска оптимальных решений данных задач в рамках реформирования судебной системы.

Одной из таких задач является проблема использования научно-технических средств (НТС) в уголовном судопроизводстве. Вектор общего научно-технического прогресса не мо-

жет оставить в стороне непроизводственные сферы деятельности, к которым, несомненно, относится и юриспруденция. Подтверждением этому является все большее и большее проникновение в уголовное судопроизводство научно-технических методов и средств, используемых для фиксации доказательственной информации. Несомненные преимущества такой фиксации, определяемые автоматизацией процесса фиксации, объективностью запечатления информации, экономичностью и оперативностью действий, заставляют уделять внимание как технической стороне внедрения НТС в судопроизводство, так и правовому регулированию их применения.

Обеспечение эффективности деятельности следователя, комплексное формирование доказательственной базы в процессе раскрытия и расследования преступлений достигается, в первую очередь, активным использованием научно-технических средств, специальных приемов и методов.

Определим перечень следственных действий, модификацию которых посредством информационно-коммуникационных технологий находим первоочередной задачей: следственное освидетельствование, допрос, очная ставка, предъявление

для опознания (лица, предмета) [1].

Таким образом, целью разрабатываемой системы является проведение следственных действий в режиме Интернет-конференции, обеспечение визуального взаимного наблюдения участников следственных действий.

Для достижения цели должны быть решены следующие задачи:

- получение видео с веб-камеры;
- передача потокового аудио и видео по сети;
- передача протокола следствия и других документов;
- шифрование передаваемого трафика;
- распознавание и сокрытие лица участника следствия по необходимости.

Основные положения предлагаемого подхода

1. Система будет использоваться в процессе производства следственных действий.

2. Система должна обеспечивать передачу видео в ходе упомянутых выше следственных действий.

3. Система также должна использоваться при проведении предъявления лица для опознания, при этом лицо опознающего должно быть скрыто от опознаваемого.

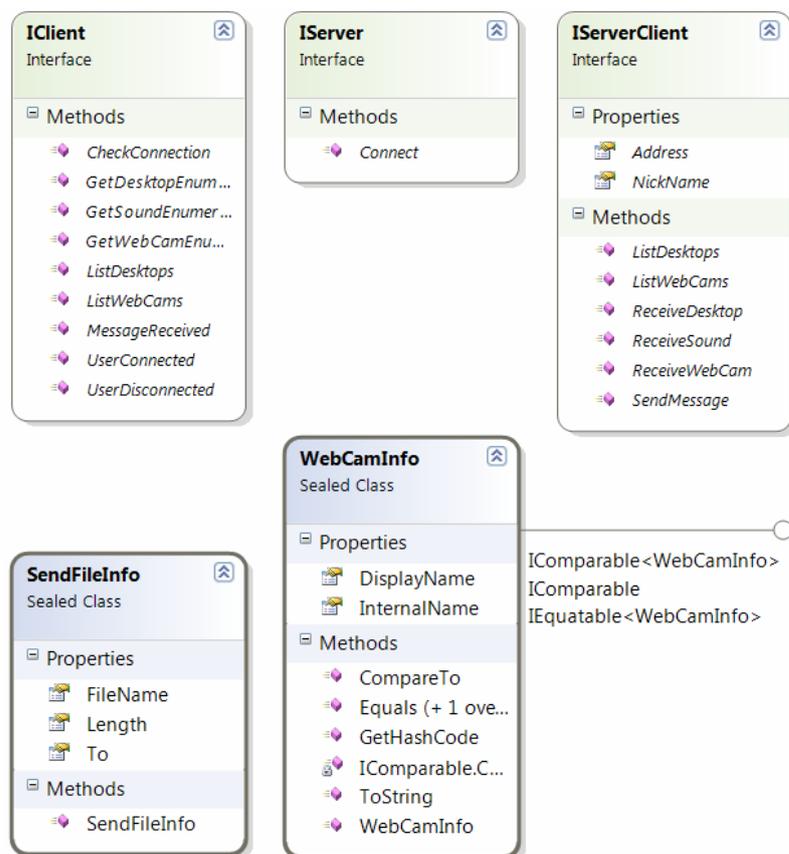


Рис. 1. Диаграмма классов общих компонентов

uc UMLUseCaseDiagram1

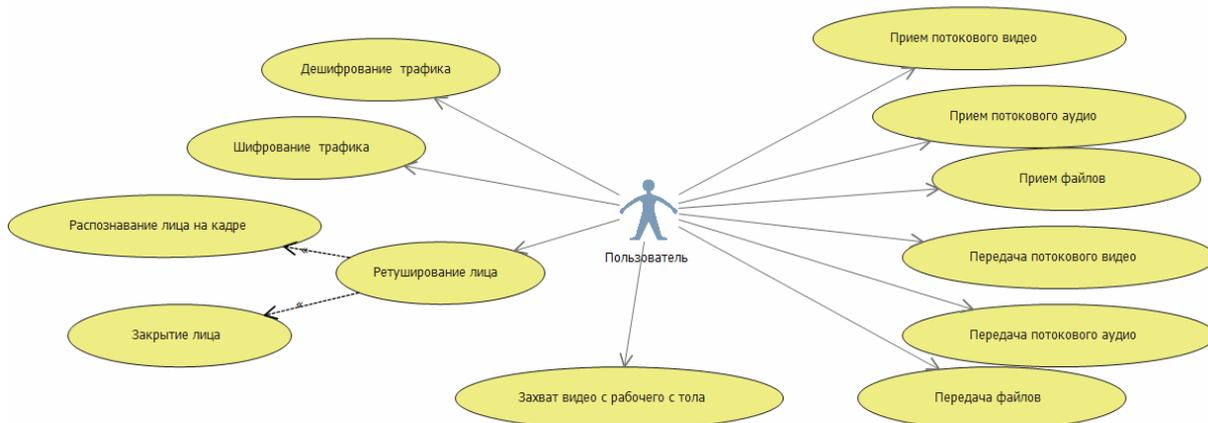


Рис. 2. Диаграмма использования системы

4. Протокол заполняется по специальной форме и не может быть передан по сети в процессе заполнения в виде текстовой информации, поэтому необходимо обеспечить передачу файлов и захват видео с рабочего стола для просмотра протокола в режиме реального времени.

В предлагаемом подходе должна быть реализована трехуровневая клиент-серверная архитектура [2], состоящая из следующих модулей:

- общая библиотека компонентов. Реализует функции, доступные клиентской и серверной части программного обеспечения системы, такие как шифрование (рис. 1);
- сервер. Осуществляет передачу информации между клиентами;
- клиент. Осуществляет захват видео и звука, распознавание лица и его ретуширование, передает аудио- и видеопотоки, файлы на сервер.

Согласно разработанной концепции, система должна выполнять следующие функции (рис. 2):

- обеспечение взаимодействия участников следствия: передача видео, звука, файлов;
- визуализация передаваемой информации: текста протокола, видеоряда, совмещенного видеоряда с разных клиентов в одном окне;
- исключение визуального наблюдения одной из сторон путем ретуширования лица в картинке;
- обеспечение безопасности передаваемой информации;

- захват видео с рабочего стола пользователя;
- захват видео с Web-камеры;
- обеспечение доступа к протоколу следствия.

В данном разрезе нам видится, что факторы развития информационных и телекоммуникационных технологий на современном этапе предопределили возможность дистанционного проведения отдельных следственных действий. Предпочтительной является форма видеоконференцсвязи применительно, прежде всего, к таким следственным действиям, как допрос, очная ставка, предъявление для опознания и освидетельствование.

Разработка автоматизированной системы дистанционного проведения следственных действий, безусловно, является инновационной и принесет значительный экономический эффект.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кравец, Е. Г.* Современные возможности накопления, передачи и анализа информации, значимой для расследования преступлений // Вестник Волгоградской академии МВД России : науч.-метод. журн. – 2010. – № 2 (13).
2. *Исаев, А. В.* Дистанционное образование: анализ информационных ресурсов / А. В. Исаев, А. Г. Кравец, А. Ш. Шахламджян // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6(66) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 8). – С. 100–103.

УДК 004.82

*В. А. Яровенко, С. А. Фоменков***FREEAGENT-ПЛАТФОРМА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: yavapro@gmail.com, saf@vstu.ru

Рассматривается создание платформы для разработки мультиагентных систем. Разработанная платформа позволяет создавать мультиагентные системы под Microsoft dot.net. Платформа является универсальной и может быть использована для решения широкого круга задач в области программных агентов.

Ключевые слова: мультиагентная система, платформа, FreeAgent, программный агент.

*V. A. Yarovenko, S. A. Fomenkov***FREEAGENT IS A PLATFORM FOR DEVELOPING MULTI-AGENT SYSTEMS****Volgograd State Technical University**

Creating of the platform for developing multi-agent systems is considered. The developed platform allows to create multi-agent systems under Microsoft dot.net. The platform is versatile and can be used for a wide range of tasks in the field of software agents.

Keywords: multi-agent system, platform, FreeAgent, software agent.

В [1] рассматривались особенности применения мультиагентного подхода при разработке системы обработки структурированных физических знаний в форме физических эффектов (ФЭ). С этой целью необходимо создание мультиагентной системы (МАС), решающей задачу интеллектуальной обработки и интеграции информации о ФЭ [2].

При проектировании МАС рассматривались различные платформы разработки МАС [3]. Основным критерием при выборе платформы была поддержка Microsoft dot.net. На dot.net работают все автоматизированные системы обработки структурированных физических знаний, созданные в ВолгГТУ. Также большое внимание уделялось наличию документации и открытых исходных кодов. В результате анализа [3] была выбрана платформа AgentService [4]. Данная платформа работает на dot.net версии 2.0 и выше; все коды открыты. Лицензионное соглашение позволяет производить любые изменения в исходном коде программы, в наличии имеется документация и примеры реализации МАС.

После выбора платформы проводились ее тестовые испытания. Для этого была реализована тестовая МАС проведения аукционов. В базе знаний каждого агента закладывалась информация о тактике ведения торгов, располагаемой сумме и нужных слотах аукциона. Дополнительно был реализован агент-арбитр аукциона.

Тестовые испытания программы AgentService выявили недостатки в работе платформы.

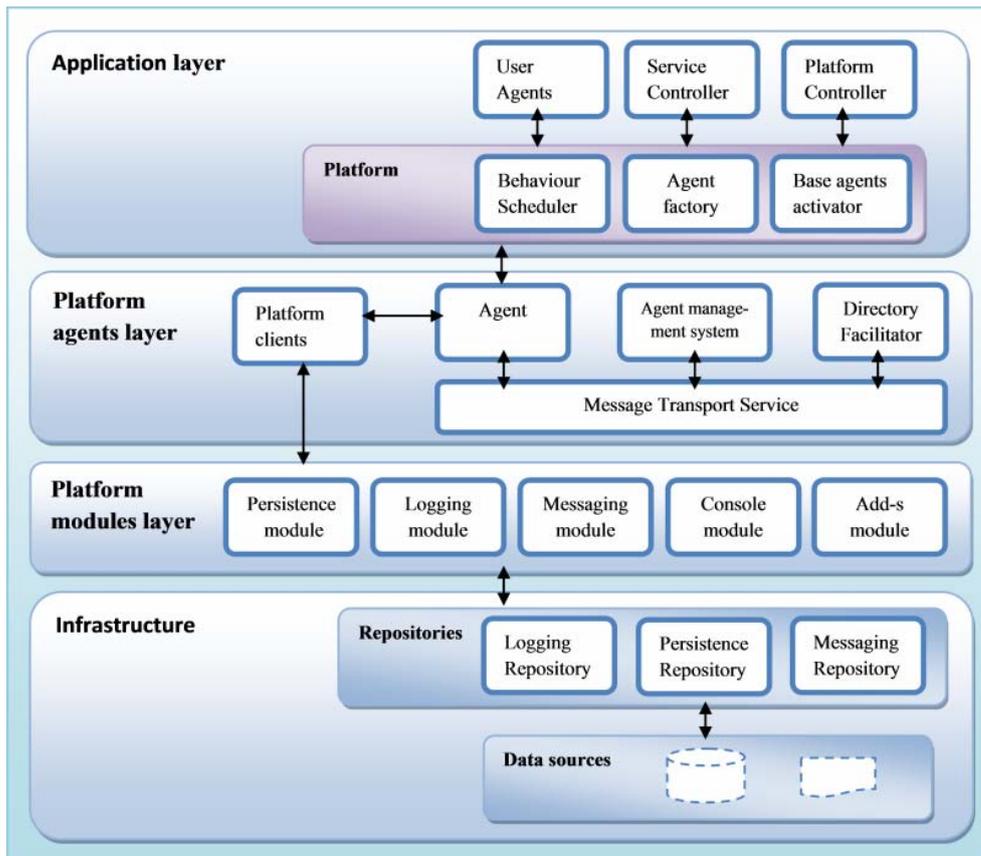
Программа экстренно завершала свою работу с ошибками. Серия последовательных запусков программы приводила к различным результатам: в одних случаях программа выдавала ошибки, в других – «зависала». При изучении исходных кодов программы были выявлены нарушения стандартов проектирования, ошибки при работе с потоками. В результате этих ошибок работа платформы была нестабильна, фиксировались взаимные блокировки потоков, «рассинхронизация» потоков, некорректная передача параметров.

В ходе данной работы была реализована собственная платформа разработки мультиагентных систем под dot.net, которая получила название *FreeAgent*. Программа разрабатывалась на языке программирования с# (Microsoft dot.net 3.5 и выше). При этом использовались знания и опыт, полученные при изучении платформы AgentService. На рисунке изображена общая архитектура системы FreeAgent.

Система включает: слой приложения (Application layer), слой агентов платформы (Platform agents layer), слой модулей платформы (platform modules layer) и инфраструктуру (Infrastructure).

Инфраструктура абстрагирует модули платформы от источников данных и реализует низкоуровневый функционал по взаимодействию с базой данных, файлами, интернетом. В состав инфраструктуры входят: репозитории, адаптеры для различных источников данных.

Слой модулей предоставляет сервисные функции платформы. Данный функционал использу-



Общая архитектура системы FreeAgent

ется как самой платформой, так и клиентами платформы (Platform clients). Слой состоит из базовых и дополнительных модулей. К базовым относятся модуль сохранения/загрузки состояния агента (Persistence module), модуль логирования информации (Logging module), модуль передачи сообщений (Messaging module), модуль выдачи информационных сообщений (Console module). Пользователи платформы могут расширять функциональность платформы, добавляя новые модули.

Слой агентов является ключевым в архитектуре платформы. Он включает в себя агенты платформы, алгоритмы функционирования и взаимодействия агентов. Каждый агент платформы имеет уникальный идентификатор (AID). Идентификатор состоит из имени платформы и имени агента. Таким образом, обратиться к агенту можно как изнутри текущей платформы, так и с удаленной платформы. Помимо идентификатора агент включает: текущее состояние, знания и список поведений. Поведения описываются пользователями платформы. Агент может использовать функционал модулей платформы, для этого он использует клиенты платформы. В состав платформы входят ба-

зовые агенты: агент передачи сообщений (Message transport service), сервис «белых» страниц (Agent management service), сервис «желтых» страниц (Directory facilitator).

Слой приложения отвечает за функционирование платформы MAC. Пользователи MAC могут взаимодействовать только со слоем приложения. Для управления платформой используется контроллер платформы (Platform controller). Он позволяет создавать платформу и управлять ее «жизненным циклом». Для программирования поведения агентов используются пользовательские агенты. Пользовательские агенты содержат описания структуры знаний и поведения агентов. Для взаимодействия пользователя с сервисами платформы используется контроллер сервиса (Service controller). Контроллер сервиса позволяет создавать агенты платформы, запускать агенты на выполнение, взаимодействовать с другими агентами платформы, остановить работу агента.

Разделение приложения на слои позволило уменьшить зависимость между компонентами приложения. Взаимодействие между слоями происходит через интерфейсы. В каждом слое приложения предусмотрены возможности рас-

ширения. В инфраструктуре расширение возможно за счет добавления новых репозиторий и источников данных. Слой модулей расширяется посредством добавления новых модулей платформы. Слой агентов платформы расширяется за счет создания новых видов поведений агентов.

Разработанная платформа FreeAgent позволяет реализовывать МАС в области программных агентов. Особенностью платформы является ее универсальность. Она может быть использована для решения широкого круга задач в этой области. FreeAgent полностью поддерживает стандарты FIPA [5] при разработке МАС.

Процесс разработки МАС на основе FreeAgent отличается простотой и удобством. Для разработки МАС необходимо сначала создать пользовательские агенты (реализовать структуру знаний и поведения агентов). Далее используется контроллер приложения для запуска платформы на выполнение.

Платформа и агенты защищены от пользователей. Пользователь не может напрямую работать с агентами или платформой, а только использует контроллер платформы и контроллер сервиса.

В первой версии программы существуют ограничения. Платформа поддерживает только последовательные поведения агентов. Не реализован сервис мобильности агента, позволяющий перемещать агента с одной платформы

на другую, поэтому с помощью FreeAgent можно создавать только одноплатформенную МАС. Данные недостатки не являются существенными и будут устранены в будущих версиях программы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яровенко, В. А. Особенности применения мультиагентного подхода при разработке системы обработки структурированных физических знаний / В. А. Яровенко, С. А. Фоменков // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6(66) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 8). – С. 132–134.
2. Яровенко, В. А. Формирование интегрированной системы обработки структурированных физических знаний с применением мультиагентного подхода / В. А. Яровенко, С. А. Фоменков // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 12(60) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 126–128.
3. Яровенко, В. А. Совершенствование модели представления и средств управления массивом данных физических эффектов / В. А. Яровенко, С. А. Фоменков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2010. – № 9. – С. 28–31.
4. AgentService [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа : <http://www.agentservice.it>.
5. The Foundation for Intelligent Physical Agents. [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа : <http://www.fipa.org>.

УДК 004.946

А. А. Алимов, О. А. Шабалина

СИСТЕМА ИГРОВОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: velorth.avelies@gmail.com, o.a.shabalina@gmail.com

В работе рассматривается программная система управления персонажами игрового виртуального мира на основе мультиагентного подхода. Внимание уделено управлению группами агентов, взаимодействию агентов и параллельному решению задач.

Ключевые слова: искусственный интеллект, мультиагентные системы, виртуальная реальность.

А. А. Alimov, O. A. Shabalina

THE SYSTEM OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR GAMES

Volgograd state technical university

The paper describes an artificial intelligence system controlling characters behavior in computer games. The system is based on multiagency approach. Attention is paid to coordination between agents. Agent's structure designed for handling multiple tasks.

Keywords: artificial intellect, computer games, multi-agent systems, virtual reality.

Введение

Разработка видеоигр – это активно развивающаяся индустрия. В компьютерных играх

оппонентом человека часто выступает не другой человек, а искусственный интеллект (ИИ). Под *игровым искусственным интеллектом* по-

нимают набор программных методик, которые используются в компьютерных играх для создания иллюзии интеллекта в поведении персонажей, управляемых компьютером, таких как юниты в стратегиях и несобственные персонажи в ролевых играх. Эти классы игр являются хорошей тестовой платформой для алгоритмов коллективного управления, поскольку позволяют наглядно отобразить результаты работы ИИ.

В общем случае все объекты виртуального мира игры можно классифицировать на пассивные, интерактивные и активные. Пассивные объекты подчиняются только физике виртуального мира, активные действуют самостоятельно и принимают решения, интерактивные могут быть использованы активными.

Поведение активных объектов моделируется с использованием мульти-агентного подхода, и в дальнейшем активные объекты именуются агентами.

Спецификой игрового ИИ является сложность формализации поведения агентов. Пространство игры, как правило, не дискретно и количество состояний игры велико по сравнению с логическими играми. Сложность формализации не позволяет эффективно применять алгоритмы обучения и прогнозирования [1].

Целью работы является разработка программной системы, позволяющей эффективно реализовать поведение персонажей стратегических и ролевых игр.

В рассматриваемом классе игр агенты, как правило, выполняют [2]:

- решение задачи навигации: определение положения агента в пространстве и поиск пути между двумя точками в пространстве;
- реализацию индивидуальных действий агента: поведенческих реакций, принятия решений, выбор определенной тактики поведения или действия из нескольких возможных;
- параллельное решение задач: если у агента есть несколько целей, он должен уметь выбирать наиболее приоритетные или, по возможности, достигать их одновременно;
- реализацию коллективных действий: управление группами агентов, взаимодействие агентов, распределение целей, перемещение группами.

Анализ систем игрового ИИ

Исторически сложилось, что поведение оппонента программируется как частное решение, а не общее. На сегодняшний день существуют системы, решающие задачи игрового ИИ по от-

дельности, но систем, предлагающих эффективное комплексное решение, на момент проведения исследования обнаружено не было. Особого внимания заслуживают системы Unreal Development Kit (Epic games), Radiant AI (Bethesda Softworks) и A-Life (GSC).

UDK реализует конечно-автоматную модель поведения агентов и предлагает специализированный язык для реализации поведения [3]. *Radiant AI* определяет поведение агентов как последовательное решение определенных типовых задач. *A-Life* реализует управления группами агентов.

На основании анализа рассмотренных систем предложена концепция иерархической модели поведения, подробно описанная в [4]. Все действия агента можно классифицировать на элементарные, тактические и стратегические. Образуется иерархия уровней управления, где стратегические действия определяют цели агента и реализуют коллективное управление; тактические действия реализуют достижение цели; элементарные действия соответствуют состояниям агента (движение, ожидание). Параллельно агент может выполнять несколько действий на каждом уровне, что позволяет одновременно обрабатывать несколько целей.

Модель поведения агента

Все объекты виртуального мира представлены как композиты графической, физической и поведенческой модели. Пассивные объекты не имеют поведенческой модели. Поведение интерактивных объектов не является интеллектуальным и представляет собой статически запрограммированные реакции на столкновение или использование другими объектами. Поведение активных объектов (агентов) можно представить следующей структурой:

Behaviour = <FactBase, LogicSolver, PathMap, PathFinder, AIPackages, Actuators>,

где FactBase – множество предикатов вида Statement (e_1, e_2, \dots, e_n), в которых содержатся знания о мире и закономерности; LogicSolver – алгоритм логического вывода, входом которого является предикат, а выходом – логическое значение, соответствующее истинности предиката; Actuators – множество эффекторов (манипуляторов) агента; PathMap – карта путей, которая используется для решения задачи навигации; PathFinder – алгоритм поиска оптимального маршрута; AIPackages – множество используемых пакетов ИИ.

Пакеты ИИ в разрабатываемой системе аналогичны пакетам ИИ в системе Radiant AI и используются для хранения информации о доступных действиях агента. Каждый пакет описывается следующей структурой:

AIPackage = <ActionType, TargetGenerator,
Condition, Schedule, Flags>,

где ActionType – класс действия, которое агент начнет выполнять; TargetGenerator – алгоритм выбора объекта, над которым производится действие; Condition – условие активизации пакета. Агент начинает выполнение нового действия как только выполнится это условие; Schedule – множество интервалов игрового времени, в которые может активизироваться пакет; Flags – множество модификаторов действия, уточняющих, каким способом должна быть достигнута цель.

В отличие от Radiant AI допускается одновременное выполнение нескольких пакетов, но только при условии, что иницилируемые действия выполняются при помощи различных эфффекторов. Структура пакетов ИИ определяют тип агента; в нашем случае – это рефлексивный агент с моделью внешней среды [5]. Структура пакета может быть расширена (например, добавление функции предсказания «благополучия» агента после выполнения действия позволит применить машинное обучение) [1].

Агент изменяет свое состояние и состояние окружающей среды (виртуального мира) только при помощи действий. Действия агента имеют следующую структуру:

Action = <Actuators, TimeLimit, FStart, FStop,
FUpdate, Condition, Children>,

где Actuators – множество эфффекторов, которые необходимы для выполнения действия; TimeLimit – лимит времени, отпущенный на выполнение действия; FStart, FUpdate, FStop – функции, моделирующие начало выполнения и остановку действия; Condition – условие завершения действия; Children – дочерние действия.

Действия, которые могут быть выполнены одновременно (например, стрельба и перемещение) будут выполнены одновременно; в противном случае будет выполняться наиболее приоритетное действие.

Кооперация агентов

Существует два принципа организации управления группой агентов: централизованное и децентрализованное. Цен-

трализованное управление небольшой группой агентов реализуется проще, чем децентрализованное, но при увеличении размеров группы сложность алгоритма управления возрастает экспоненциально [5]. При децентрализованном управлении агенты должны знать о том, что они выполняют действие сообща, и, исходя из этого, принимать решение. При децентрализованном управлении страдает качество принимаемых решений.

Был разработан алгоритм управления, позволяющий пользоваться преимуществами как централизованного, так и децентрализованного способа управления. Агенты объединяются во фракции для решения некоторых задач; внутри фракции может быть организована иерархия.

Фракции могут создаваться статически (на этапе описания виртуального мира) и динамически (в процессе моделирования). Примером статической фракции являются команды агентов. Динамические фракции создаются агентами, решающими одну и ту же тактическую задачу. Фракции имеют следующую структуру:

Fraction = <ID, Target, Members>,

где ID – идентификатор фракции; Target – задача, решаемая фракцией; Members – множество пар агент-ранг, описывающее агентов, вступивших во фракцию.

Агент, занимающий более высокий ранг, может давать указания «подчиненным» агентам. Взаимодействие агентов осуществляется с помощью механизма сообщений, имеющих следующую структуру:

Message = <Type, Timestamp, Sender, Data>,

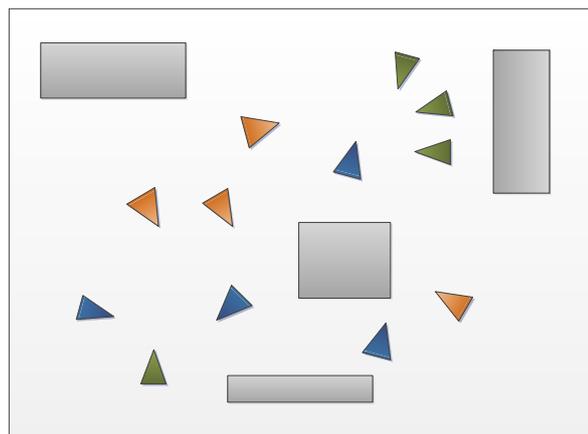
где Type – тип сообщения; Timestamp – время отправки; Sender – идентификатор отправителя; Data – произвольные данные сообщения;

Сообщение может содержать описание некоторых фактов, помещаемых в базу фактов, или указание в виде одного или нескольких пакетов ИИ.

Агент может отправить сообщение либо другому агенту (индивидуальная рассылка), либо группе агентов (массовая рассылка). Сообщения служат для координации действий агентов.

Прототип системы

Для проверки основных положений концепции был спроектирован и реализован прототип системы, моделирующий поведение агентов в двумерном мире.



Цвет обозначает фракцию

Виртуальный мир

Физика виртуального мира представляет собой физику абсолютно твердых тел на плоскости. Есть множество одинаковых агентов. Агенты могут перемещаться по виртуальному миру, подбирать и использовать предметы – боеприпасы, оружие и аптечки. Агенты распределены по командам; задача команды: защитить союзников и уничтожить противника. Отношение между командами определяется целым числом в диапазоне $[-100; 100]$, где -100 соответствует противнику, а 100 – союзнику. На рисунке треугольниками обозначены агенты, цвет треугольника определяет принадлежность команде.

Разработаны следующие базовые тактики:

следование – один агент следует за другим;

избегание – один агент убегает от другого;

поиск – агент ищет другого агента или интерактивный объект с заданными характеристиками;

атака – один агент атакует другого;

сохранение здоровья – агент использует предмет-аптечку при необходимости и пополняет ее запас;

сохранение боекомплекта – агент перезаряжает оружие и пополняет боекомплект.

Агенты имеют два эффектора: руки (Hands) и ноги (Legs), что позволяет им параллельно выполнять некоторые действия.

Основная проблема при организации иерархической системы действий – сложность условий завершения действий; необходимо все время проверять, имеет ли смысл дальнейшее выполнение действия; организовывать обратную связь между дочерним и родительским действием; координировать параллельные действия.

Результаты профилирования с помощью встроенного профилировщика MS Visual Studio показали, что условия завершения действий существенно влияли на производительность системы. Компромиссом между сложностью и адекватностью поведения можно считать применение иерархии действий в 3–4 уровня (элементарный, тактика, сценарий или стратегия); при этом агент параллельно выполняет 2–3 действия (управление боезапасом, сохранение здоровья, перемещение, атака).

Выводы

Таким образом, концепция, предложенная в [4], была доработана и расширена. В концепцию добавлены эффекторы, и структурированная информация о действиях. Создан прототип системы, реализующий основные положения концепции. В ходе работы решены следующие проблемы:

- уменьшена потенциальная алгоритмическая сложность условий действий;
- разработан механизм синхронизации и решения конфликтов при параллельном выполнении задач;
- разработан механизм выполнения коллективных действий;
- разработан механизм взаимодействия агентов, позволяющий кооперироваться и передавать знания и решать конфликты при использовании общих ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крыжановский, А. И. Применение кооперативного обучения и прогнозирования в мультиагентных системах / А. И. Крыжановский, П. С. Пыхтин // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6(66) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 8). – С. 106–109.
2. Шампандар, Д. А. Искусственный интеллект в компьютерных играх / Д. А. Шампандар. – М. : Вильямс, 2007. – 768 с.
3. Epic games. Unreal Development Kit [Электронный ресурс]. – <http://www.udk.com>
4. Шабалина, О. А. Искусственный интеллект в компьютерных играх. Многоуровневое планирование и реактивное поведение агентов / О. А. Шабалина, А. А. Алимов // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 3 (76) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 10). – С. 90–93.
5. Рассел, С. Искусственный интеллект. Современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2007. – 1408 с.
6. Каляев, И. А. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / И. А. Каляев, А. Р. Гайдук, С. Г. Капустян. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 280 с.

ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.057.4

М. С. А. Аль-Ашваль, А. Г. Кравец, Д. В. Юдин

ВЫБОР ПРОТОКОЛА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ IP-ТЕЛЕФОНИИ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: agk@gde.ru

К сети IP-телефонии выдвигаются повышенные требования по части масштабирования и интеллектуальной обработки вызовов. В связи с этим важнейшую роль при построении сетей мобильной и фиксированной связи, основанных на IP-телефонии, играет выбор протокола.

Ключевые слова: сетевой протокол, IP-телефония.

M. S. A. Al-Ashwal, A. G. Kravets, D. V. Yudin

SELECTING A PROTOCOL FOR NETWORK USING THE IP-TELEPHONY

Volgograd State Technical University

IP-telephony network has steep demands for scaling and smart calls processing. Thereby selecting of protocol for network using the IP-telephony is a significant part in network building.

Keywords: communications protocol, IP-telephony.

Введение

В настоящее время IP-телефония – одна из наиболее прогрессивных технологий передачи голосовой информации. Принцип ее действия крайне прост. Во время разговора голос оцифровывается и преобразуется в цифровые пакеты данных, после чего эта информация пересылается через Интернет на другой конец линии. Получив эти пакеты, другая сторона декодирует сигналы и преобразует их в голос. Повышенный интерес к технологии IP-телефонии обусловлен низкой стоимостью услуг, высоким качеством связи, надежностью, простотой использования.

Сеть *IP-телефонии* представляет собой совокупность оконечного оборудования, каналов связи и узлов коммутации [1]. Выделяют выделенные, интегрированные и смешанные сети IP-телефонии. В выделенных сетях для связи между устройствами используются выделенные каналы, в интегрированных – глобальная сеть Интернет. Сети смешанного типа могут использовать как выделенные каналы, так и сеть Интернет.

К сетям мобильной и фиксированной связи, основанным на использовании IP-телефонии,

предъявляются повышенные требования по части масштабирования и интеллектуальной обработки вызовов. В связи с этим важнейшую роль при построении таких сетей играет выбор протокола. Протоколы обеспечивают регистрацию IP-устройства (будь то шлюз, терминал или IP-телефон) на сервере провайдера, вызов, установление голосового соединения. В настоящее время широкое применение нашли два протокола – H.323 и SIP. Выбор между ними является одним из ключевых моментов построения сети IP-телефонии.

Построение сети IP-телефонии на базе протокола H.323

Протокол H.323 в большей степени ориентирован на передачу телефонного трафика. Сети, построенные на базе этого протокола, ориентированы на взаимодействие с телефонными сетями и могут рассматриваться даже как цифровые сети с интеграцией обслуживания. При этом рекомендации H.323 предусматривают использование различных алгоритмов сжатия речевой информации, что позволяет эффективно использовать полосу пропускания [2].

Основными устройствами сети на базе H.323

являются: терминал, шлюз, привратник и устройство управления конференциями (рис. 1).

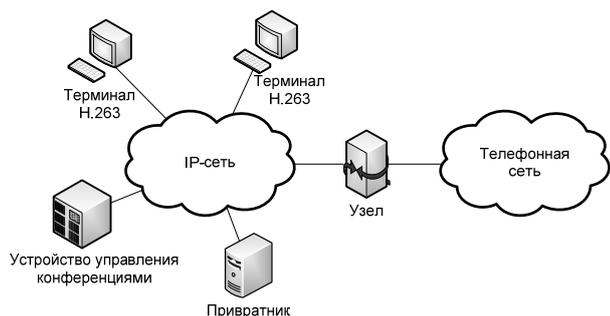


Рис. 1. Сеть IP-телефонии на базе протокола H.263

Построение сети IP-телефонии на базе протокола SIP

SIP расшифровывается как Session Initiation Protocol – протокол инициирования сеанса. SIP является протоколом прикладного уровня и предназначается для организации, модификации и завершения сеансов мультимедиа конференций, телефонных соединений и других способов передачи данных [3].

Протокол SIP имеет клиент-серверную архитектуру. Клиент выдает запросы, сервер принимает и обрабатывает их, выдает ответы. Хотя сеть IP-телефонии, построенная на базе протокола SIP, предполагает использование большого количества разнообразных сервисов, сам протокол непосредственного участия в передаче голосовых, видео и других данных не принимает. Он отвечает только за установление связи, поэтому под *SIP-телефонией* понимается установление соединения, его поддержание и завершение. Обслуживание этих функций распределено между различными элементами сети SIP. Среди них основные: клиент SIP, прокси-сервер, сервер переадресации и сервер местоположения (рис. 2).

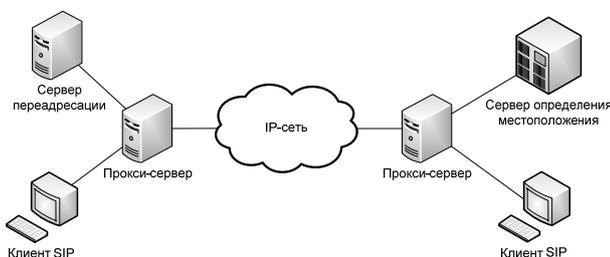


Рис. 2. Сеть IP-телефонии на базе протокола SIP

Сравнительный анализ протоколов H.323 и SIP

Интенсивное внедрение IP-телефонии и жесткая конкуренция потребовали постоянного

наращивания функциональных возможностей обоих протоколов. Преимущества одного переимались другими, исправлялись недостатки. В итоге, в настоящее время функционал обоих протоколов примерно одинаков. Тем не менее, необходимо отметить и существенные отличия. Были выбраны следующие критерии сравнения рассматриваемых протоколов:

1. Сложность протокола

Протокол H.323 использует двоичный формат, в то время как SIP – более универсальный и простой текстовый. Общий объем спецификаций протокола H.323 в 4,6 раз больше, чем у SIP [2]. Также протокол H.323 использует в несколько раз больше информационных полей в сообщениях. Таким образом, можно сделать вывод, что протокол SIP проще в организации и использовании.

2. Расширяемость протокола

Под *расширяемостью* подразумевается возможность создания новых версий и обеспечения совместимости различных версий протоколов. Расширяемость протокола SIP обеспечивается с помощью: согласования параметров, стандартизации кодеков и модульной архитектуры. Также он достаточно просто обеспечивает совместимость разных версий: поля, которые не понятны оборудованию, просто игнорируются. Архитектура же протокола H.323 монолитна и включает набор протоколов для одного применения.

3. Масштабируемость сети

Масштабируемость означает, что сеть позволяет наращивать количество элементов. Этому критерию полностью отвечает серверная структура SIP. Сервер, по умолчанию, не хранит сведений о текущих сеансах связи и поэтому обрабатывает больше вызовов, чем аналог в H.323. Однако отсутствие таких сведений, по мнению некоторых специалистов, может вызывать трудности при организации работы сети.

4. Время установления соединения

В запросе протокола SIP содержится вся необходимая для установления соединения информация, включая описание функциональных возможностей терминала. Таким образом, в протоколе SIP для установления соединения требуется одна транзакция, а в протоколе H.323 необходимо производить обмен сообщениями несколько раз.

5. Персональная мобильность пользователей

Персональная мобильность пользователей – один из трех базовых принципов, заложенных в

протокол SIP. Суть его заключается в том, что пользователю предоставляются услуги связи в любом месте в пределах сети. В протоколе H.323 механизмы персональной мобильности тоже предусмотрены, но менее эффективны.

6. Задание приоритетов в обслуживании вызовов

В ряде стран существуют требования предоставления преимущества некоторым пользователям при обслуживании вызовов. В протоколе SIP можно не только задать приоритеты, но и зарегистрировать несколько адресов с указанием приоритетности каждого из них. В протоколе H.323 такая возможность не предусмотрена.

7. Стандартизация дополнительных услуг

Стандартизация дополнительных услуг позволяет избежать проблем при организации взаимодействия различного оборудования различных организаций. Достоинством протокола H.323 является наличие стандартов по предоставлению дополнительных услуг (рекомендация ITU-T H.450.X) [2]. В протоколе SIP правила предоставления дополнительных услуг не определены.

На основании обнаруженных достоинств и недостатков рассмотренных протоколов по каждому критерию было дана оценка от 0 до 5 баллов и составлена таблица, приведенная ниже.

Сравнительный анализ протоколов H.323 и SIP

Критерий	SIP	H.323
Сложность	5	3
Расширяемость	5	3
Масштабируемость	4	3
Время установления сигнала	5	3
Персональная мобильность пользователей	5	4
Задание приоритетов в обслуживании вызовов	5	0
Стандартизация дополнительных услуг	0	5
Итого	29	21

Таким образом, к основным преимуществам протокола SIP можно отнести простоту организации, мобильность, расширяемость.

Выводы

На основании проведенного сравнения можно сделать вывод о том, что протокол SIP больше подходит для построения интегрированных и смешанных сетей. Как правило, сети таких типов организуют уже существующие интернет-провайдеры, предоставляющие услуги IP-телефонии как дополнительный сервис. Для обеспечения необходимого качества передачи речи такие компании просто оснащают собственную сеть дополнительным оборудованием.

Использование SIP-протокола также представляется перспективным направлением при переходе к конвергентным решениям универсальным платформам, на базе которых можно предоставлять широкий спектр услуг: мобильную и фиксированную связь, высокоскоростной доступ в Интернет, а также реализовывать принципиально новые подходы к построению виртуальных мини-АТС, виртуальных Call-центров, видео и голосовой почты и многое другое.

Вместе с тем, хочется отметить, что конечный выбор протокола будет зависеть и от целей бизнеса, и от требуемых функциональных возможностей. И хотя при проведении сравнения протоколы рассматривались как конкурирующие, на практике они могут использоваться в различных областях рынка услуг связи и даже работать параллельно друг с другом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полканов, Е. И. Интеллектуальные сети и компьютерная телефония / Е. И. Полканов, М. А. Шнепс-Шнеппе, С. В. Крестьянинов. – М.: Радио и связь, 2001. – 240 с.
2. Гольдштейн, Б. С. IP-телефония / Б. С. Гольдштейн, А. В. Пинчук, А. Л. Суховицкий. – М.: Радио и связь, 2001. – 336 с.
3. Гольдштейн, Б. С. Протокол SIP. Справочник / Б. С. Гольдштейн, А. А. Зарубин, В. В. Саморезов. – СПб.: BHV-СПб., 2005. – 456 с.

УДК 681.3.016

*Д. В. Быков, И. С. Лепешкин, А. Д. Неретин***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CMIS-КОНТРОЛЛЕРА
ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ХРАНИЛИЩ ЭЛЕКТРОННЫХ ДАННЫХ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: mitril@list.ru, lis892009@yandex.ru, antony2011@yandex.ru

В данной статье рассматривается новый стандарт Content Management Interoperability Services (CMIS), предназначенный для обеспечения интероперабельности между хранилищами электронных данных, и предлагается схема взаимодействия между разнородными репозиториями электронного контента, посредством внешнего CMIS-контроллера.

Ключевые слова: стандарт CMIS, CMIS-контроллер, хранилище электронных данных, аутентификация, авторизация, Atom Published Protocol, TLS.

*D. V. Bikov, I. S. Lepeshkin, A. D. Neretin***USING CMIS-CONTROLLER TO INTEGRATE REPOSITORIES OF ELECTRONIC DATA****Volgograd State Technical University**

The new standard Content Management Interoperability Services (CMIS) is considered at given article, intended for ensure of the interoperability between repositories of electronic data, and the interaction scheme between diverse repositories of electronic content by means of the external CMIS-controller is offered.

Keywords: CMIS standard, CMIS-controller, repository of electronic data, authentication, authorization, Atom Published Protocol, TLS.

В современном мире сложилась ситуация, при которой организации используют различные системы хранения электронной информации – корпоративные порталы, системы электронного документооборота, хранилища электронных документов (ХЭД), ERP-системы и другие. Например, в компании Citigroup используют около 25 различных систем хранения электронного контента. Организация взаимодействия между этими системами представляет собой достаточно трудную задачу.

Стандарт CMIS (Content Management Interoperability Services) разрабатывался с 2007 года и был принят OASIS в 2010 году. Он был создан для облегчения проблемы интеграции различных систем управления контентом. Стандарт описывает набор сервисов, которые могут быть реализованы в электронном хранилище (репозитории).

Реализация CMIS API входит в компетенцию разработчика хранилища данных. Конечно, существуют открытые реализации этого стандарта, но они имеют существенный недостаток, так как не могут использовать все возможности репозитория.

Остается нерешенной проблема интеграции хранилищ данных, которые обладают разными предметными областями, схемами аутентификации и авторизации. Для решения данной задачи авторами предлагается использование универсального CMIS-контроллера. Он должен обладать следующими функциями:

- 1) авторизация и аутентификация пользователей одновременно для всех хранилищ, то есть пользователям, например, не придется проходить авторизацию в каждом репозитории, достаточно будет пройти авторизацию в контроллере;
- 2) единый поиск контента по всем репозиториям;
- 3) перенаправление запроса пользователя к конкретному хранилищу;
- 4) содержание набора CMIS API репозитория, использующихся в системе.

Реализация системы «клиент – CMIS-контроллер – ХЭД» представлена на рис. 1.

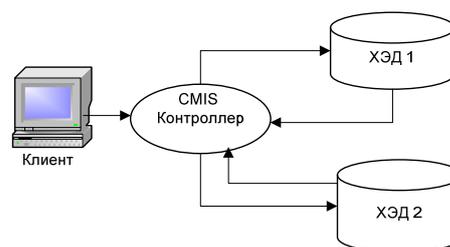


Рис. 1. Архитектура системы «клиент – CMIS-контроллер – ХЭД»

Структурная схема самого CMIS-контроллера представлена на рис. 2. Конвертор запросов выполняет функции преобразования клиентского запроса для работы с конкретными ХЭД к CMIS-контроллеру с помощью набора CMIS-провайдеров ХЭД в соответствующие запросы для каждого ХЭД и, наоборот, обраба-

тывает ответы ХЭД и выдает приложениям-клиентам единый ответ.

Веб-сервер осуществляет обмен данными с приложениями-клиентами и ХЭД.

Контейнер CMIS-провайдеров представляет собой набор CMIS API конкретных хранилищ данных.

Интерфейс для взаимодействия с CMIS-контроллером представляет собой стандартный набор интерфейсов, закрепленный в стандарте CMIS.

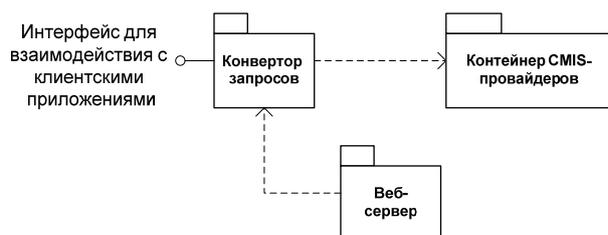


Рис. 2. Структурная схема CMIS-контроллера

Сценарий работы системы:

1) клиент посылает запрос на осуществление работы с конкретными ХЭД CMIS-контроллеру;

2) CMIS-контроллер преобразует запрос клиента в CMIS-запрос и адресует его CMIS API конкретного ХЭД;

3) CMIS API ХЭД преобразует CMIS-запрос и отправляет запрос ХЭД.

4) ХЭД обрабатывает запрос и посылает ответ своему CMIS API;

5) CMIS API преобразует полученный ответ в CMIS-ответ и передает его CMIS-контроллеру;

6) контроллер преобразует CMIS-ответ и отправляет его клиенту.

Сам по себе CMIS не предоставляет механизмов обеспечения безопасности – выбор способа аутентификации и авторизации остается за каждым репозиторием; за протоколами, которые используют приложения для взаимодействия с конкретным репозиторием с помощью сервисов CMIS, а так же самими приложениями [5]. Стандарт CMIS предполагает, что у каждого конкретного репозитория имеется способность самостоятельно реализовывать механизмы аутентификации и авторизации пользователей с помощью каких-либо протоколов. Стандарт не дает никакой возможности для того, чтобы указать приложению, какие действия авторизованный пользователь может выполнять над конкретным объектом в репозитории. Конкретный

репозиторий имеет право сам определять на основе имеющейся информации о пользователе (возможно, прошедшем внешнюю авторизацию), будет ли его запрос удовлетворен.

Стандарт CMIS предоставляет единственный сервис, который позволяет приложению выбрать, какие действия, из числа определенных стандартом, может выполнять конкретный пользователь над конкретным объектом. За репозиторием также оставлено право решать, какие из этих действий определить как разрешенные, основываясь на внутренней модели авторизации.

Использование механизмов аутентификации для предотвращения доступа неизвестными или несанкционированными клиентами рекомендуется, но не обязательно. Когда аутентификация не используется, то и клиент, и сервер уязвимы к разного рода атакам. Но в некоторых случаях этот риск оправдан.

Один из наиболее популярных протоколов, используемых в сочетании со стандартом CMIS – Atom Publishing Protocol (APP). Он построен на базе HTTP, и позволяет создавать, удалять и изменять Web-ресурсы. Также он позволяет реализовать механизмы аутентификации и авторизацию средствами HTTP [1]. APP получает все большее распространение среди интерфейсов для доступа к Web-ресурсам. Но сам по себе этот протокол не дает достаточных возможностей по управлению контентом. Использование APP в сочетании с CMIS позволяет достичь необходимого уровня защищенности Web-ресурса, для предотвращения несанкционированного доступа к нему злоумышленника. В свою очередь, APP дает возможность реализовать непредусмотренные в стандарте CMIS механизмы аутентификации и авторизации.

Тип аутентификации выбирается оператором сервера. HTTP-протокол предоставляет две стандартные схемы – Basic и Digest, использующие заголовки Authorization и WWW-Authenticate [4]. При этом начальная аутентификация происходит по стандартной последовательности, изображенной на рис. 2. В качестве параметров доступа в этих механизмах используются имя пользователя и пароль. В схеме Basic они с каждым запросом непосредственно передаются серверу, а в Digest данные о пользователе передаются в виде результата вычисления какой-либо криптографической функции (причем, для повышения безопасности, передаются не только имя и пароль, но и параметры

запроса и некоторая дополнительная информация о пользователе).

Поскольку в схеме Basic данные пользователя передаются в открытом виде, они могут быть без особого труда перехвачены, поэтому ее рекомендуется использовать поверх защищенных соединений. Как минимум, механизм должен быть реализован на базе HTTP Basic Authentication в сочетании с TLS 1.0 или последующих версий TLS.

Выбор механизма аутентификации повлияет на совместимость различных систем, взаимодействующих по стандарту CMIS. Минимальный уровень безопасности, упомянутый выше (Basic Authentication с TLS), считается достаточным для нейтрализации большинства угроз информационной безопасности Интернет-приложений.

Общая схема аутентификации выглядит следующим образом:



Рис. 3. Общая схема аутентификации

Далее приведена схема взаимодействия клиента с CMIS-контроллером посредством диалога по протоколу TLS.

Предложенная схема реализации универсального CMIS-контроллера совместно с APP позволяет проводить интеграцию ХЭД, которые обладают разными предметными областями,

схемами аутентификации и авторизации. Это может быть важно при организации взаимодействия различных систем хранения и управления документами, реализованными как в одной, так и в тесно взаимодействующих организациях.



Рис. 4. Обмен сообщениями между клиентом и CMIS-контроллером по протоколу диалога TLS

* Отмечает необязательные или зависящие от ситуации сообщения, которые посылаются не всегда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. The Atom Publishing Protocol [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://tools.ietf.org/html/rfc5023>
2. Content Management Interoperability Services (CMIS) Version 1.0 [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа : <http://docs.oasis-open.org/cmisis/CMIS/v1.0/cmisis-spec-v1.0.pdf>
3. Быков, Д. В. Способы аутентификации и разграничения доступа к базам данных в сервис-ориентированных приложениях / Д. В. Быков, В. С. Лукьянов, И. В. Прохоров, А. В. Скакунов // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 6(54) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Сер. Актуаль-

ные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып.7). – С. 127–130.

4. Реализация программного интерфейса грид-сервиса pilot на основе архитектурного стиля rest [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа : http://num-meth.srcc.msu.su/zhurnal/tom_2010/pdf/v11r206.pdf

5. CMIS: управление контентом как сервис [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа : <http://old.osp.ru/os/2008/09/5716877/>

6. Лукьянов, В. С. Аналитическое моделирование конфиденциального электронного архива / В. С. Лукьянов, Д. В. Быков // Информационные технологии в образовании, технике и медицине : матер. междунар. конф., 21–24 сент. 2009 г. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – 66 с.

УДК 658.512:004.72

*С. В. Кручинин, С. В. Зотов, А. В. Вишняков***К ВОПРОСУ ВЫБОРА МЕЖДУ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОСТЬЮ
И УНИВЕРСАЛЬНОСТЬЮ В ПРОЕКТИРОВАНИИ САПР
(НА ПРИМЕРЕ САПР СИСТЕМ СВЯЗИ)****ОАО «Концерн "Созвездие"»**

E-mail: siblis@yandex.ru

В статье рассмотрена проблема выбора между двумя подходами в проектировании ПО: специализированностью и универсальностью. На примере разработки САПР систем связи рассмотрены случаи, когда какой из подходов уместен, а когда недопустим. В статье предложен метод разграничения по уровням программного обеспечения между универсальным ядром и специализированными конфигурациями-надстройками для него.

Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования (САПР), компьютерные сети, расширяемый язык разметки XML, архитектура ПО.

*S. V. Kruchinin, S. V. Zotov, A. V. Vishnyakov***ON THE CHOISE BETWEEN SPECIALITY AND VERSALITY
IN CADD DESIGN (ON THE EXAMPLE NETWORK CADD)****JSC «“Sozvezdie” Concern”»**

The article discusses the problem of choosing between the two approaches to software development: specialization and versality. On the example of network CADD development we consider the cases when each approach is appropriate and when it is not permissible. This paper proposes a method of distinguishment between levels of the software: universal core and specialized configurations, add-ons for it.

Keywords: computer-aided design and drafting (CADD), networks, XML (extensible markup language), software architecture.

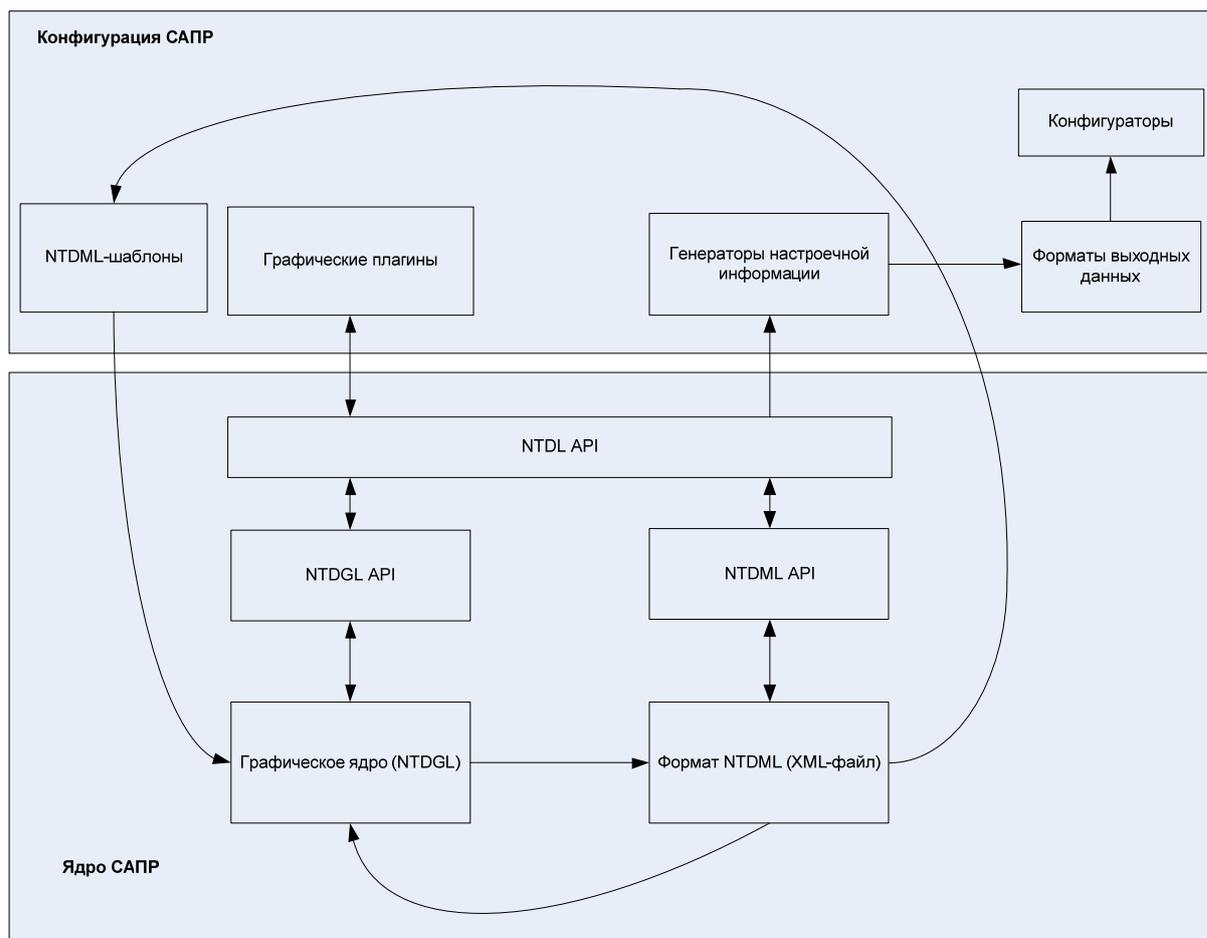
С 2006 года по настоящее время авторы занимаются изучением и разработкой клиент-серверного ПО для ряда специализированных вычислительных сетей, как стационарных, так и мобильных, а также смешанных. Частично спецификация подобных сетей приведена в [1]. При этом авторы столкнулись с проблемой настройки указанных сетей; нестандартное оборудование и специфические протоколы требовали инструмента для автоматизации настройки. Первый такой инструмент имел графический табличный интерфейс и позволял редактировать и генерировать настроечные данные. И хотя он состоял из двух сравнительно независимых частей – редактора и генератора настроечной информации [2] и консольного конфигуратора программного обеспечения [3], сам редактор был специализированным. Но непредвиденные и постоянно меняющиеся требования к конфигурации сети и используемому оборудованию потребовали постоянной модификации и перекомпиляции программного обеспечения, что потребовало новой, более гибкой системы разработки.

Заметим, что инженеры, разрабатывающие топологии вычислительных сетей, использовали редактор Microsoft Visio, а на основе распе-

чатанных схем формировались настроечные данные – с помощью вышеописанного редактора (для ПО) и вручную (для аппаратуры). Поэтому авторами было предложено разработать САПР с интуитивно-понятным графическим интерфейсом для разработки топологии вычислительных сетей.

Авторами было предложено разграничить систему на два уровня иерархии – универсальную графическую систему и специализированные конфигурации-надстройки для нее. В результате, была разработана архитектура, компоновка которой изображена на рисунке.

Как видно из схемы, САПР состоит из двух уровней – ядро (платформа) САПР и уровень надстроек-конфигураций САПР. В то время как ядро довольно универсально и не зависит от частных особенностей оборудования, протоколов и других особенностей телекоммуникационных сетей, обеспечивая лишь методы хранения, отображения и манипуляции концептуальными и графическими объектами, уровень расширений-конфигураций может обладать достаточной специализированностью. Расширения-конфигурации разрабатываются для конкретных случаев применения и включают шаблоны соответствующих устройств, графические



Архитектура разрабатываемой САПР

плагины – скрипты, позволяющие осуществлять автоматизированные действия над схемами связи (проверка, расчет адресов и т. д.), генераторы настроечной информации. Именно шаблоны и ПО конфигурации содержат знания о конечных форматах настроечных данных для аппаратуры и программного обеспечения, загружаемого соответствующими программами-конфигураторами.

Для обеспечения универсальности ядра авторами разработан язык проектирования сетевой топологии – network topology design language (NTDL). Он позволяет абстрагироваться от свойств и особенностей телекоммуникационных объектов, задавая только характер отображения и способ взаимодействия отображаемых объектов. NTDL состоит из двух нотаций: NTDGL (network topology design graphic language), служащей для графического отображения объектов, и NTDML (network topology design markup language), служащей для хранения объектов в текстовом виде на диске и манипуляций с ними в консольном режиме.

Особенностью NTDL является только то, что он оперирует лишь самыми общими объектами: устройство, порт, комплекс (здание или транспорт), самыми общими связями (вложенность, связанность). Все конкретные типы устройств (модем, маршрутизатор, радиостанция), их параметры (скорость, протокол, IP-адрес), их взаимоконфигурация (количество и выбранные тип устройств в комплексе, количество каналов), тип связанности (радиоканал, Ethernet, витая пара) задаются пользователем, который свободен в выборе конфигураций, исходя из нужд разрабатываемых систем связи.

Авторами разработан язык нотации NTDML, являющийся подмножеством XML, служащий для хранения объектов NTDL. Также авторами разработано программное обеспечение для отображения NTDGL – графическое ядро визуализации и анализа инженерных схем [4] (далее «графическое ядро»), выполненное в виде подключаемой библиотеки .so. Библиотека «графическое ядро» и язык разметки NTDML составляют основу ядра САПР.

Для взаимодействия с ядром САПР конфигурации в архитектуре САПР предназначен API, состоящий из трех элементов. API NTDL представляет собой единый интерфейс доступа к объектам NTDL и позволяет использовать настройки как для графического редактора САПР, так и создавать обработчики файлов NTDGL. Единое API основывается на взаимно-однозначном соответствии между NTDML и NTDGL. Применение вызова «закрасить прямоугольник цветом», например, над NTDGL приведет к тому, что графическое ядро редактора перекрасит отображаемый объект, а применение к NTDML изменит свойство соответствующего тега в XML. Но сохранение преобразованного документа с помощью API NTDGL даст документ, идентичный непосредственному его преобразованию с помощью API NTDML.

API NTDML позволяет создавать конфигурации для САПР. Основой конфигурации все же являются не ПО, реализованные с помощью API, а шаблоны с готовыми свойствами (но не заполненными их значениями). Шаблоны представляют собой NTDML файлы и могут готовиться в самой САПР. С помощью API могут подключаться языки программирования, в том числе интерпретируемые (python, perl, bash), которые позволяют выполнять уже специализированные операции над схемами (ориентирясь уже на сами свойства шаблонов), например, производить валидацию схем или выполнять трассировку маршрутизации. С помощью API NTDML могут быть разработаны генераторы настроечной информации (ПО-настройки), которые преобразуют данные из NTDML-формата в форматы настроек для конкретных устройств или программных модулей, которые уже с помощью соответствующих конфигураторов могут быть загружены в программное обеспечение или аппаратуру.

Стоит отметить, что конфигурации (в отличие от ядра САПР) являются специализированным программным обеспечением и создаются для решения узконаправленных задач (в отличие от универсального ядра САПР). На одно универсальное ядро САПР может быть разработано несколько различных специализированных конфигураций.

Впрочем, ни разработанное «графическое ядро», ни язык NTDML еще не означают, что их использование автоматически дает универсализацию разработанного ПО. Так «Библиотека графических примитивов» [5], хотя и разра-

ботана на основе «Графического ядра», тем не менее, реализует частные случаи устройств не с помощью задания их в виде NTDML-файлов, а в виде наследуемых объектов языка C++, что для поддержки нового оборудования требует доработки и перекомпиляции.

Итак, на основе вышесказанного можно сделать следующие выводы: узкоспециализированное ПО с жестким кодированием на языке программирования свойств конкретных поддерживаемых объектов может быть пригодно только при неизменяемости обслуживаемой среды. В случае если требуется поддержка большого числа разнообразных объектов, с возможностью динамического изменения их параметров и добавления новых, лучше использовать двухуровневый подход, предложенный в настоящей статье. Универсальной является низкоуровневая платформа, для которой уже строятся специализированные расширения. При добавлении новых условий и новых объектов требуется лишь дописать конфигурацию, что позволяет разрабатывать более надежное ПО, так как возможные ошибки в проектировании и разработке надстроек не затрагивают архитектуру платформы-ядра.

Предложенные авторами методы могут использоваться не только в разработке САПР, но и в создании сред моделирования. В частности, на основе рассмотренного ядра САПР систем телекоммуникаций, становится возможным разрабатывать не только системы проектирования, но и системы моделирования, для использования в соответствии с принципами, описанной в [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кручинин, С. В. К вопросу о терминологии в области мобильных сетей транспортных средств / С. В. Кручинин // Теория и техника радиосвязи. – Воронеж. – 2011. – № 1. – С. 117–120.
2. Генератор настроечной информации: заявка № 2007612850, 09.07.2007; свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2007613777, 05.09.2007 / С. В. Зотов.
3. Программа настройки ПО СТ: заявка № 2011617036: 21.09.2011; свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2011618880, 15.11.2011 / С. В. Кручинин, В. В. Лазарев.
4. Графическое ядро визуализации и анализа инженерных схем: заявка № 2011617192, 27.09.2011; свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2011618938, 16.11.2011 / С. В. Зотов, С. В. Кручинин, А. М. Кузнецов.
5. Библиотека графических примитивов: заявка № 201161053, 29.03.2011; свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2011613834, 18.05.2011 / В. В. Бесонов, А. В. Кузнецов, А. А. Свиридов.

6. Лукьянов В. С. Имитационное моделирование каналов передачи данных в процессе изучения студентами вопросов по надежности информационных систем / В. С. Лукьянов, О. В. Степанченко, Е. С. Кузнецов // Известия Волгоградского государственного технического университета :

межвуз. сб. науч. ст. № 11(71) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 7). – С. 149–152.

УДК 003.26

В. С. Лукьянов, И. А. Степаненко

АНОНИМНОСТЬ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАТЕЖЕЙ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: stepanenkoigor1988@yandex.ru

В статье рассматриваются финансовый криптографический протокол «анонимные денежные чеки» и основные шаги выполнения протокола; объясняется, что обеспечивает анонимность платежа и безопасность банка; приводится блок-схема алгоритма, а также говорится о достоинствах и недостатках рассмотренного криптографического протокола.

Ключевые слова: финансовая криптография, система электронных платежей, криптографический протокол, электронная наличность.

V. S. Lukyanov, I. A. Stepanenko

ANONYMITY IN THE ELECTRONIC PAYMENT SYSTEM

Volgograd State Technical University

Reviewed financial cryptographic protocol «anonymous cash checks». This work tells about the basic steps of the protocol, explains that provides anonymity and security of payment of the bank, there is a block diagram of the algorithm, and describes the advantages and disadvantages considered a cryptographic protocol.

Keywords: financial cryptography, electronic payment system, a cryptographic protocol, e-cash.

На сегодняшний день хорошо прослеживается развитие электронной коммерции. Это явление объясняется тем, что процесс платежа электронными деньгами осуществляется быстро и не возникает очередей. Также недостатками наличных денег является то, что их нужно постоянно носить с собой, они разрушаются и их просто могут украсть. Конечно, чеки и кредитные карточки уменьшили количество наличных денег, но они не гарантируют анонимности – всегда можно проследить, что, когда и где покупалось. Человек должен иметь возможность охранять свои личные тайны. По этой причине электронные платежные системы должны гарантировать анонимность платежей.

В данной статье рассматривается криптографический протокол анонимных денежных чеков, который является упрощенным физическим аналогом протокола на базе «слепой» подписи, введенной Дэвидом Чаумом. Заметим, что на базе «слепой» подписи строятся многие другие криптографические протоколы, где (так или иначе) затрагивается проблема анонимности (например, протоколы электронного голосования) [3].

Рассматриваемый протокол позволяет обеспечить такие моменты в системе электронных

платежей, как высокая безопасность банка и полная анонимность клиента.

Безопасность банка основывается на невозможности подделать его подпись для создания фальшивой банкноты или, более общим образом, на невозможности, получив набор подлинных электронных банкнот, подделать подпись еще хотя бы для одной банкноты. Для этого используют алгоритм RSA, который составляет основу большинства алгоритмов слепой цифровой подписи.

Для анонимности клиента применяют алгоритм слепой цифровой подписи: при снятии со счета банк подписывает не банкноту, а некоторую скрытую последовательность бит, из которой клиент восстанавливает подписанную банкноту. Таким образом, анонимность гарантируется тем, что банк просто не знает, что именно он подписал.

Рассматриваемый протокол состоит из следующих шагов [1]:

- 1) покупатель готовит 100 анонимных денежных чеков по 1000 рублей каждый;
- 2) покупатель вкладывает каждый из них и лист копировальной бумаги в 100 различных конвертов и относит все конверты в банк;
- 3) банк открывает 99 конвертов и убеждает, что каждый чек выписан на 1000 рублей;

4) банк подписывает единственный оставшийся нераспечатанным конверт. С помощью копировальной бумаги подпись переводится на чек. Банк возвращает нераспечатанный конверт покупателю и списывает 1000 рублей с его счета;

5) покупатель вскрывает конверт и отдает денежный чек продавцу;

6) продавец проверяет банковскую подпись, убеждаясь в законности денежного чека;

7) продавец относит денежный чек в банк;

8) банк проверяет свою подпись и начисляет 1000 рублей на счет продавца.

Сразу возникает вопрос: почему банк подписывает конверт, а не сам чек, так как после вскрытия девяносто девяти конвертов он с вероятностью, близкой к единице знает содержимое нераспечатанного конверта. Первой причиной является то, что банк по условию не может вскрыть все конверты, так как если «покупатель» получит чек вне конверта, он заблокирует платеж. Из описания слепой RSA-подписи следует, что сам банк не может вскрыть конверты, а должен просить об этом покупателя. Таким образом, покупатель всегда может проконтролировать вскрытие именно девяносто девяти из ста, а не всех конвертов. И наконец, подпись самого чека дает возможность злоупотребления со стороны банка. К примеру, банк может пометить чек и отследить платеж, что нарушает правило анонимности платежа.

Конечно, покупатель должен доказать свою подлинность так как банк не будет подписывать любой конверт. Поэтому вся необходимая для аутентификации информация должна быть указана на конверте, но чек должен содержать только ту информацию, которая необходима для осуществления платежа – сумма, реквизиты (не раскрывающие личность плательщика) и т. д. Банк заверяет чек только после того, как полностью аутентифицирует плательщика. Однако впоследствии, получив заверенный чек от продавца, банк не может точно установить, что данный чек принадлежит конкретному покупателю. Действительно, банк знает, что конкретный покупатель заверял чек на 1000 рублей, но когда этот чек попал к продавцу, банк не знает. Очевидно, что у банка целая масса клиентов, и каждый из них мог заверить чек на 1000 рублей. К примеру, продавец также является законным клиентом банка, может заве-

рить чек на такую же сумму и отличий между чеком продавца и покупателя не будет. Из этого вытекает, что данный протокол обеспечивает анонимность платежа и вероятность обмана со стороны покупателя не превышает 1 %, поскольку проверяется 99 из 100 конвертов. Конечно, банк назначит за обман достаточно большой штраф (такой, чтобы не стоило мошенничать). Ведь если банк просто откажется подписать последний чек (в случае, когда покупатель пойман на обмане), не штрафую покупателя, то тот, в свою очередь, продолжит попытки, пока ему не повезет.

Криптографический эквивалент описанного протокола представлен в виде блок-схемы, изображенной на рис. 1 и 2.

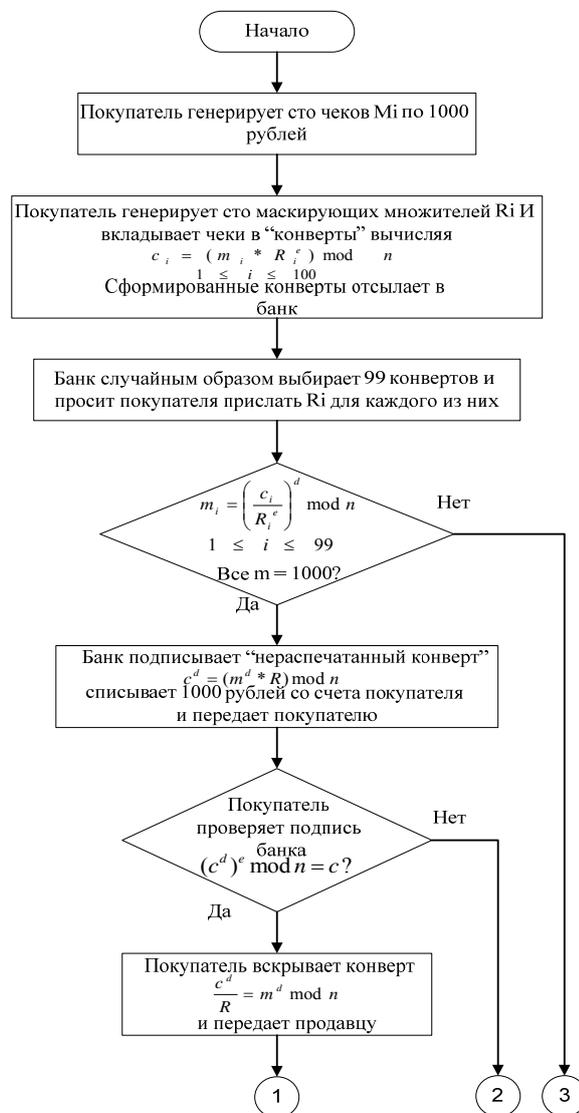


Рис. 1. Блок-схема протокола «анонимные денежные чеки»

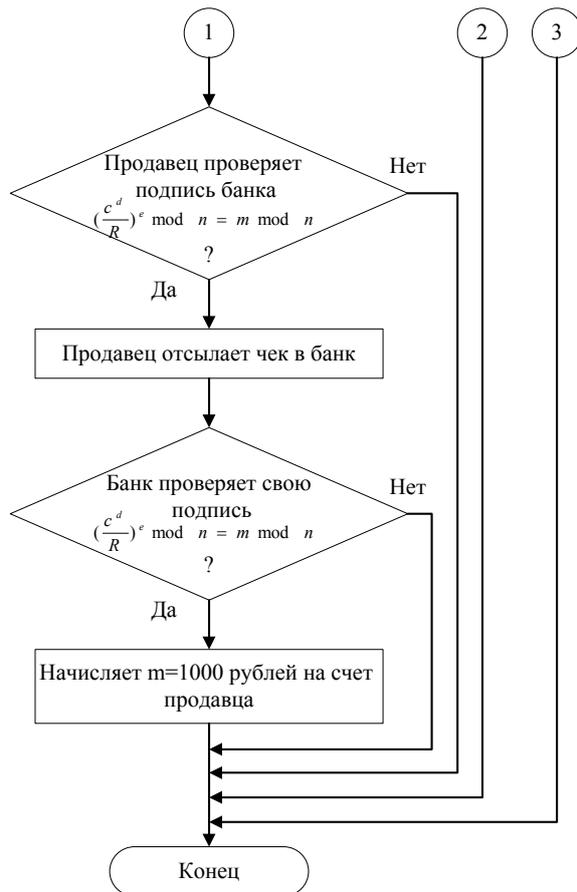


Рис. 2. Продолжение блок-схемы протокола «анонимные денежные чеки»

Для того чтобы «вскрыть конверт», банк должен получить от покупателя маскирующий множитель R и вычислить m по формуле

$$m = \left(\frac{c}{R^e} \right)^d \bmod n, \quad (1)$$

где (e, n) – открытый ключ банка; (d, n) – секретный ключ банка; c – замаскированный чек.

Найти m при неизвестном маскирующем множителе R очень трудоемкая задача и сравнима с атакой на криптосистему RSA при неизвестных p и q .

Может показаться, что достаточно «вскрыть» один конверт, получить m и затем вскрывать все остальные, не зная маскирующего множителя. Действительно, если $m_i = m_j$ при $i \neq j$, то R_j вычисляется по формуле

$$R_j = \left(\frac{c_j}{m_i} \right)^d \bmod n. \quad (2)$$

Данная проблема легко решается путем создания отличающихся чеков. Можно сгенерировать необходимое количество уникальных случайных чисел s_i и вычислить h_i по формуле

$$h_i = (m_i \oplus s_i) \parallel s_i. \quad (3)$$

Тогда $m_i = m_j$ при $i \neq j$, но $h_i \neq h_j$ при $i \neq j$. Следовательно, если c_i вычисляется по формуле

$$c_i = h_i \cdot R_i^e \bmod n, \quad (4)$$

то действует неравенство

$$R_j \neq \left(\frac{c_j}{h_i} \right)^d \bmod n. \quad (5)$$

Таким образом, вскрыв один «конверт» и узнав m , банк не сможет раскрыть другие, не узнав маскирующий множитель R .

Из рассмотренного криптографического протокола следует, что «покупатель» не сможет мошенничать, написав на чеке сумму, отличную от заявленной. Но его ничто не останавливает от использования чека повторно. Повторное использование чека и является самым главным и серьезным недостатком рассмотренного в данной статье протокола. Для решения данной проблемы существует модификация протокола анонимных денежных чеков [2], которая будет рассмотрена в рамках другой статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шнайер, Б. Прикладная криптография / Б. Шнайер. – 2-е изд. – М.: Триумф, 2002.
2. Запечников, С. В. Криптографические протоколы и их применение в финансовой и коммерческой деятельности / С. В. Запечников. – М.: Горячая Линия-Телеком, 2007.
3. Македонский, С. А. Анализ систем проведения электронного голосования / С. А. Македонский, В. С. Лукьянов // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11(71) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 9). – С. 152–155.

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ
Волгоградского государственного технического университета
№ 4 (91), 2012 г.

Серия «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И ИНФОРМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»
Выпуск 13

Межвузовский сборник научных статей

Редактор *Л. Н. Рыжих*

Компьютерная верстка *Е. В. Макаровой*

Темплан 2012 г. (научные издания). Поз. № 3н.

Подписано в печать 12.04.2012. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 21,39. Уч.-изд. л. 22,16.

Тираж 100 экз. Заказ

Волгоградский государственный технический университет.
400005, г. Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28, корп. 1.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ.
400005, г. Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

В сборнике научных статей «Известия высших учебных заведений», серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» публикуются статьи, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на совершенствование наземных транспортных и тяговых систем и их элементов, а также на повышение эффективности транспортных операций.

Вопрос об опубликовании статьи или ее отклонении решает редакционная коллегия сборника, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редколлегия направляет представленный для издания материал на рецензирование.

Рукопись должна быть набрана и сверстана в текстовом редакторе Word и распечатана на лазерном принтере в режиме полной загрузки тонера. Формат бумаги А4 (210×297 мм).

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на дискетах или компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Дискета должна быть вложена в отдельный конверт, на этикетке дискеты указываются фамилии авторов статьи.

При наборе текста следует соблюдать следующие требования: поля – верхнее – 2,0 см, нижнее – 3,0 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см; шрифт Times, кегль 14, интервал полуторный.

Текст набирается с применением автоматического переноса слов, перед знаками препинания (в том числе внутри скобок) пробелы не допускаются, после них ставится один пробел. Разрядка слов не допускается, следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, рисунков, таблиц. Для набора символов в формульном редакторе MS Equation (MS Word) использовать установки (Стиль/Размеры) только по умолчанию; рисунки должны быть выполнены в редакторах векторной графики, таких как CorelDRAW или в любом приложении к Word. Допускается сканирование рисунков в программе Microsoft Photo Editor.

Инициалы и фамилия автора (авторов) пишутся над заглавием статьи. Ниже заглавия, перед основным текстом, указывается организация или предприятие, в котором работает автор статьи. В конце статьи ставится подпись автора (на бумажном варианте).

Литературные ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Библиографический список использованной литературы, составленный в порядке упоминания в тексте, дается в конце статьи; связь с основным текстом осуществляется цифровым порядковым номером в квадратных скобках в строке. Подстрочные ссылки не допускаются.

Иностранные фамилии и термины в тексте следует приводить в русском переводе. В библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводится на языке оригинала.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

При обозначении единиц физических величин должна применяться Международная система единиц (СИ).

Объем статьи не должен превышать 8 страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки, помеченные буквами *a*, *b*, и т. д. Рекомендуется включать в сборник статьи с авторским коллективом не более четырех человек с участием каждого автора в одной – двух статьях.

Статьи должны представлять сжатое четкое изложение результатов, полученных автором без повторов приводимых данных в тексте статьи, таблицах и рисунках. К статье должны быть приложены: сведения об авторах (полное имя, отчество, фамилия, ученая степень, звание, домашний адрес, номер телефона служебный, домашний, E-mail), документация, подтверждающая возможность ее открытого опубликования.