ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ИНФОРМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Выпуск 5

№ 8(46) Межвузовский сборник научных статей
Издается с января 2004 г. 2008

Волгоград
2008

УДК 881.3

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

Сборник зарегистрирован в Нижне-Волжском межрегиональном территориальном управлении
Министерства РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций
ПИ № 9-0631 от 19 февраля 2004 г.

Главный редактор сборника "Известия ВолгГТУ"
д-р хим. наук, проф. член-корр. РАН *И. А. Новаков*

Редакционная коллегия серии: *В. А. Камаев* (главный редактор), *В. И. Аверченков*, *О. Н. Андрейчикова*, *А. М. Бершадский*, *Л. Н. Бутенко*, *Г. Д. Волкова*, *А. М. Дворянкин*, *В. М. Курейчик*, *В. С. Лукьянов*, *Ю. П. Муха*, *С. А. Фоменков* (ответственный секретарь)

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 5 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 160 с. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 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. 116. Табл. 17. Библиогр.: 193 назв.

© Волгоградский государственный
технический университет, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

Андрейчиков А. В., Горобцов А. С., Андрейчикова О. Н.
Компьютерное моделирование динамики автомобиля с активной виброзащитной подвеской..... 5
Болдырихин Н. В., Корнеев А. А., Горюшкин С. В.
Управление наблюдениями за потоком объектов, появляющихся в зоне видимости информационной системы и исчезающих из неё в случайные моменты времени..... 11
Булычев Ю. Г., Рыбалко И. П., Бородин Л. И., Головской В. А.
Дискретно-непрерывная фильтрация в условиях неприменимости гауссовского приближения..... 14
Ветюгов В. А., Горюшкин С. В., Чепков О. Ф.
Применение бытовой видеокамеры для определения параметров выброса из транспортно-пускового контейнера..... 18
Гончаров А. А.
Моделирование процессов силового взаимодействия элементов клиновых механизмов свободного хода в условиях скользящего контакта..... 22
Дроботов А. С., Садовникова Н. П.
Исследование возможности применения фракталов для решения задач нелинейной оптимизации..... 28
Кандырин Ю. В., Кошелев А. М.
Автоматизация многокритериального структурирования альтернатив на основе их последовательного упорядочивания..... 31
Комаров Ю. Я., Волчков В. М., Федотов В. Н., Лемешкин А. В.
Создание модели процесса наезда транспортного средства на неподвижное препятствие для экспертной оценки ДТП..... 36
Крыжановский Д. И.
Метод нелинейной параметрической идентификации с использованием стохастических алгоритмов оптимизации..... 38
Магомедов А. М.
К вопросу оптимизации расписания..... 41
Никифоров С. К., Степченко А. А., Алаев Н. П.
Методика отбраковки измерений с аномальными значениями среднеквадратической ошибки..... 45
Прентковский О., Богдявичюс М., Прентковскене Р., Бложе В.
Модель взаимодействия автомобиля с защитным ограждением автомобильных дорог для оценки коэффициента вероятности повреждения головы водителя и пассажира..... 48

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Брызгалин Г. И.
Постраничное распределение текста рукописной книги «Слово о полку Игореве» 13–15 вв. 53
Бутенко Л. Н., Шамина Е. Н., Бутенко М. В.
Концепция автоматизированной поддержки экспертизы технических решений.... 64
Емелин Н. М., Труханов В. М., Шведова Е. А.
Модель управления процессом научно-исследовательских работ по созданию изделий машиностроения..... 67
Ковалев С. М., Хатламаджиян А. Е., Долгий А. И.
Интеллектуальный препроцессинг георадиолокационных данных на основе нейросетевой модели поиска паттернов временных рядов..... 68
Ливинский С. В., Рыбалко И. П., Чепков О. Ф.
Метод компенсации систематических ошибок измерений в угломерных каналах радиолокационных систем..... 72
Ольхович Л. Б.
Оптимизация производительности бизнес-процессов при помощи их распараллеливания..... 75

Санжапов Б. Х., Калина И. С.
Модель принятия решений на основе многокритериальной оценки объектов в виде нечетких распределений..... 78
Шумский П. Ю.
Концепция создания автоматизированной системы оценивания состояния технологического оборудования..... 82

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Беззубикова С. С., Брумштейн Ю. М., Ветрова А. А.
О возможных подходах к распределению средств дополнительного финансирования кафедр в вузах на основе комплексных оценок качества их работы..... 85
Брумштейн Ю. М., Пугина Н. Н., Мангаладзе Н. Ф., Смирнова Е. В.
Методы оценки межвузовской конкуренции за контингент обучающихся на региональном рынке услуг высшего профессионального образования..... 90
Брумштейн Ю. М., Суфиева Г. З., Цырульников Е. В., Белоброва В. П.
Анализ направлений и эффективности методов обеспечения деятельности вузов программными средствами..... 93
Воробкалов П. Н., Шабалина О. А.
Применение метода автоматизированной оценки качества электронных обучающих систем..... 97
Головкина В. Б.
Управление инновационным образовательным процессом на кафедре с целью обеспечения качества обучения (на примере кафедры Инженерной графики)..... 101
Кудряшова Э. Е.
Визуальное моделирование при разработке бизнес-плана..... 104
Кудряшова Н. А., Крыжановский Д. И.
Система организации практико-ориентированного высшего образования в западноевропейских странах (на примере Финляндии и Бельгии)..... 108
Окладникова С. В.
Разработка алгоритма контроля и управления соответствия тестовых материалов правилам русского языка..... 112
Санжапов Б. Х., Калина И. С.
Обоснование реализации программы социально-экономического развития региона в условиях нечеткой информации..... 115
Шиловский О. А.
Поддержка принятия решений в задачах управления вузом с использованием аналитических платформ..... 119
Шуляков Е. А.
Учебный робототехнический комплекс..... 122
Шушков Ю. Г.
Поддержка процесса формирования команды для разработки внешнего IT проекта..... 124
Щербинина О. В., Кожевникова Н. Ю.
Оперативное управление аудиторным фондом в задаче составления расписания учебных занятий в вузе..... 127

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Глушань В. М., Иванько Р. В., Лаврик П. В., Орлов Н. Н.
Обобщение некоторых результатов исследования когнитивной модели распределенной САПР..... 130
Игумнов С. Н.
Автоматизированная система проектирования АИИС КУЭ..... 134
Олейников С. П., Олейников Д. П., Бутенко Л. Н.
Декомпозиция задач принятия решения в условии неоднородной информации..... 136
Петрухин А. В., Золотарев А. В.
Алгоритм обработки 3D моделей для отображения топографо-анатомических сред..... 138
Рыльников А. Г., Фоменков С. А.
Объектная модель представления текста для организации естественно-языкового поиска в массиве физических эффектов..... 141

ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

Донченко А. А., Езимов А. В., Кисляков М. А., Алимахин Н. В.
Расширение математического аппарата Е-сетей для моделирования структурно-функциональной организации систем радиосвязи..... 145
Ташлинский А. Г., Панкратов П. А., Кальников В. В.
Математическое моделирование системы цикловой синхронизации с параллельным поиском..... 148
Холодов А. Ю.
Анализ пропускной способности двухкомпонентных систем путем имитационных экспериментов..... 151

УДК 531.1

А. В. Андрейчиков, А. С. Горобцов, О. Н. Андрейчикова

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ С АКТИВНОЙ ВИБРОЗАЩИТНОЙ ПОДВЕСКОЙ[1]

Российский государственный университет инновационных технологий и предпринимательства, Волгоградский государственный технический университет (gorobtsov@avtlg.ru)

Рассматриваются теоретические возможности системы активного подрессоривания автомобиля с различными контурами обратных связей. На примере автомобиля повышенной проходимости анализируются эффективность различных контуров управления в широком частотном диапазоне. Выявлены обратные связи с наибольшим подавлением вибраций.

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

A. V. Andreychikov, A. S. Gorobtsov, O. N. Andreychikova

COMPUTER SIMULATION OF THE CAR RIDE COMFORT WITH ACTIVE SUSPENSION

The effectives of a car active suspension with multidimensional feedback control system is investigated. The parameters of the car ride comfort are simulated and the vibrations reduction are estimated.

Optimal Control, Active Suspension, Vibration, Stochastic Systems.

Характеристика модели транспортного средства

Существенного улучшения плавности хода, устойчивости и управляемости перспективных автомобилей повышенной проходимости можно достичь за счет использования активных (управляемых) виброзащитных подвесок выполненных на основе различных типов упруго-демпфирующих элементов и систем управления. Известные системы управления работают на основе электронных схем или контроллеров, реализующих управление параметрами устройства, которые устанавливают фиксированное отображение показаний датчиков в заранее определенные значения параметров виброзащитной подвески [1–5].

В данной работе исследовалась эффективность управления виброзащитной подвески автомобиля по различным обратным связям с помощью компьютерной системы моделирования ФРУНД [6]. Разработанная модель транспортного средства содержит три тела: кузов, передний и задний мосты. Кузов имеет три системы свободы – вертикальное перемещение и два угловых, относительно поперечной и продольной осей, мосты имеют две степени свободы – вертикальную и угловую, относительно продольной оси. Мосты связаны с дорогой через шины, а с кузовом через подвеску. Геометрические характеристики соответствуют одному из проектов перспективного автомобиля повышенной проходимости, расчетная схема которого, приведена на рис. 1. На схеме упругие элементы и демпферы изображены в виде пружин, а активная часть подвески – овалами.

Сумма жесткостей активной и пассивной частей подвески, включенных параллельно, принята равной номинальной (штатной) жесткости. Характеристика шины учитывает ее отрыв от дороги. В пределах хода подвески ее силовая характеристика принята линейной, а за пределами хода – движение мостов ограничивается упругими буферами с большой жесткостью. Каждая активная виброзащитная подвеска имеет независимую систему управления. Блок-схема одного канала активной подвески изображена на рис. 2. Сила, возникающая в исполнительном гидроцилиндре, в общем случае определяется на основании четырех обратных связей: по скоростям кузова и моста, относительному ходу подвески и по силе в пассивной части подвески.

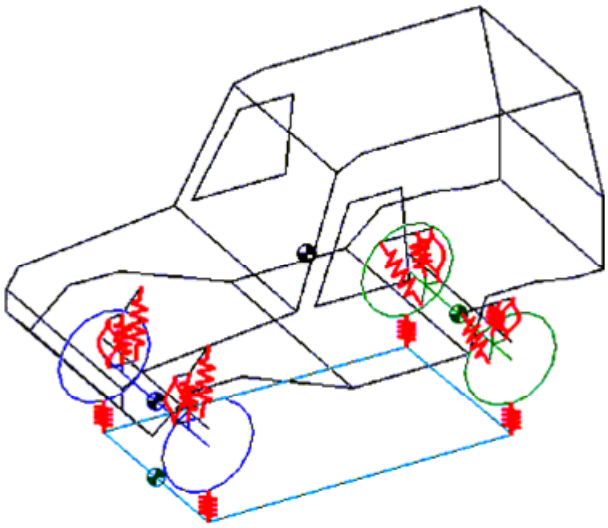


Рис. 1. Расчетная схема подвески автомобиля с активной системой подрессоривания

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

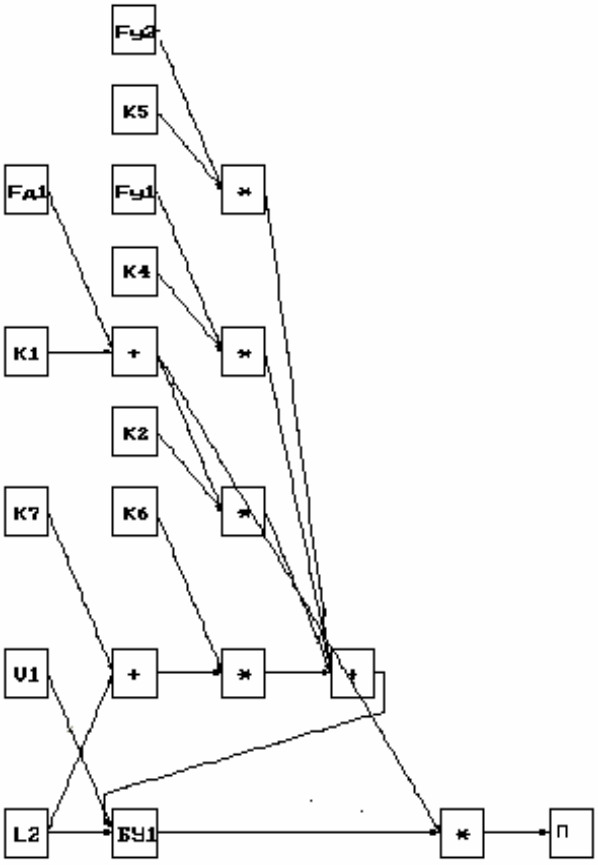


Рис. 2. Блок схема канала управления подвеской:
+ – суммирующее звено; * – умножающее звено; Fy2 – датчик измерения вертикальной скорости кузова над подвеской; K5 – коэффициент усиления по скорости кузова; Fy1 – датчик измерения вертикальной скорости моста в месте крепления подвески; K4 – коэффициент усиления по скорости моста; Fд1 – датчик измерения силы в пассивной части подвески; K1 – статическая сила в подвеске (берется с отрицательным знаком для вычисления рассогласования в сумматоре); K2 – коэффициент усиления по рассогласованию силы; L2 – датчик измерения относительного хода подвески; K7 – значение статического хода подвески (берется с отрицательным знаком для вычисления рассогласования в сумматоре); K6 – коэффициент усиления позиционера; V1 – датчик измерения относительной скорости подвески; БУ – блок управления – вырабатывает значение силы в приводе активной части подвески с учетом ее хода, для поддержания номинального значения статического положения подвески; П – привод активной части подвески – исполнительное звено системы управления

Для исследования качества системы подрессоривания моделировалось движение автомобиля по неровностям случайного профиля. В частности, применялись неровности типа "булыжник с выбоинами и буграми", и "булыжник удовлетворительного качества", что соответствует дороге плохого и удовлетворительного качества. Основная часть расчетов проводилась на дороге плохого качества при скорости движения автомобиля равной 36 км/час. Другие скорости движения и типы дорог брались для проверки полученных результатов.

В качестве исходных данных использовались результаты моделирования движения автомобиля повышенной проходимости, по случайному микропрофилю, с номинальными параметрами подвески. По результатам расчетов строились спектры мощностей следующих величин – вертикальных ускорений в передней части кузова (над передней левой подвеской), угловых ускорений кузова, деформаций подвески и шины.

Исследование движения автомобиля с активной подвеской

Исследовались возможности активной подвески при управлении подачей жидкости в гидроцилиндр по давлению и ускорению кузова над подвеской. Предварительные расчеты исключили из дальнейшего рассмотрения вариант управления по ускорению мостов, который не дал положительного эффекта, а также сложный с точки зрения технической реализации вариант управления по скоростям кузова и мостов. Поэтому исследовались варианты управления активной подвеской по давлению и ускорению кузова. Расчеты проводились для скорости 36 км/час на дороге, соответствующей плохому качеству. Принималось, что вся упругость подвески сосредоточена в ее активной части, а максимальная пиковая мощность привода соответствовала 20 кВт. Были установлены следующие рациональные значения для коэффициентов обратной связи по давлению (Кр) и ускорениям кузова (Ка): Кр = 0,005…0,15; Ка = 0,8…1,2.

Из результатов моделирования (рис. 3) можно сделать вывод о том, что управление по давлению уменьшает интегральные средние квадратические значения (СКЗ) ускорений в 1,4 раза, а при управлении по ускорению более чем в 2 раза по сравнению со штатной не управляемой подвеской.

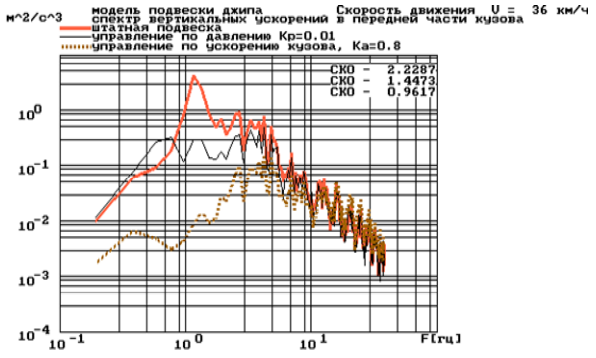


Рис. 3. Сравнение эффективности управления по различным обратным связям

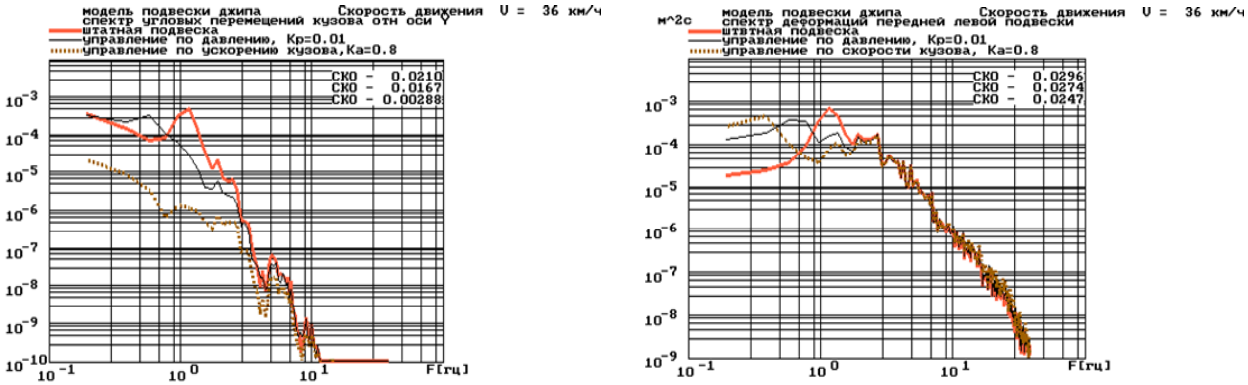
Еще больший эффект наблюдается по угловым перемещениям автомобиля, достигая десятикратной величины при управлении по ускорению кузова (рис. 4*а*). В полосе собственной частоты колебаний подвески 0,7…3,0 Гц эффект в 2–3 раза больше, чем по интегральным СКЗ.

Общий уровень деформаций управляемой подвески увеличивается незначительно, но существенно усиливается спектр деформаций в низкочастотной области, что может приводить к "пробою" подвески – ударам об ограничители хода (рис. 4*б*).

Управление снижает деформации шин на собственной частоте подвески, что положительно влияет на показатель управляемости автомобиля. Одновременное управление подвеской по давлению и ускорению не улучшает эффективность системы.

Расчеты показали, что затрачиваемая на управление по ускорению и давлению мощность составляет соответственно 1,8 квт и 2,3 квт (рис. 3). На рис. 5 показан след траектории колебаний кузова моделируемого автомобиля, справа оснащенного штатной и активной слева подвесками.

Повышенные деформации управляемой подвески на низких частотах, могут вызвать ее пробои. Поэтому были рассмотрены особенности движения автомобиля с активной подвеской в нестационарных режимах – движение по уклону, косогору, разгон – торможение, поворот. Для проведения этих исследований математическая модель была дополнена описанием воздействия на подвеску сил, возникающих в нестационарных режимах. Динамика подвески в этом случае исследуется без учета действия случайного микропрофиля, поскольку нестационарные воздействия носят квазистатический характер и слабо влияют на виброзащитные свойства подвески.



а *б*

Рис. 4. Сравнительные спектры колебаний при управлении по различным обратным связям:
а – продольно-угловые колебания; *б* – деформации подвески

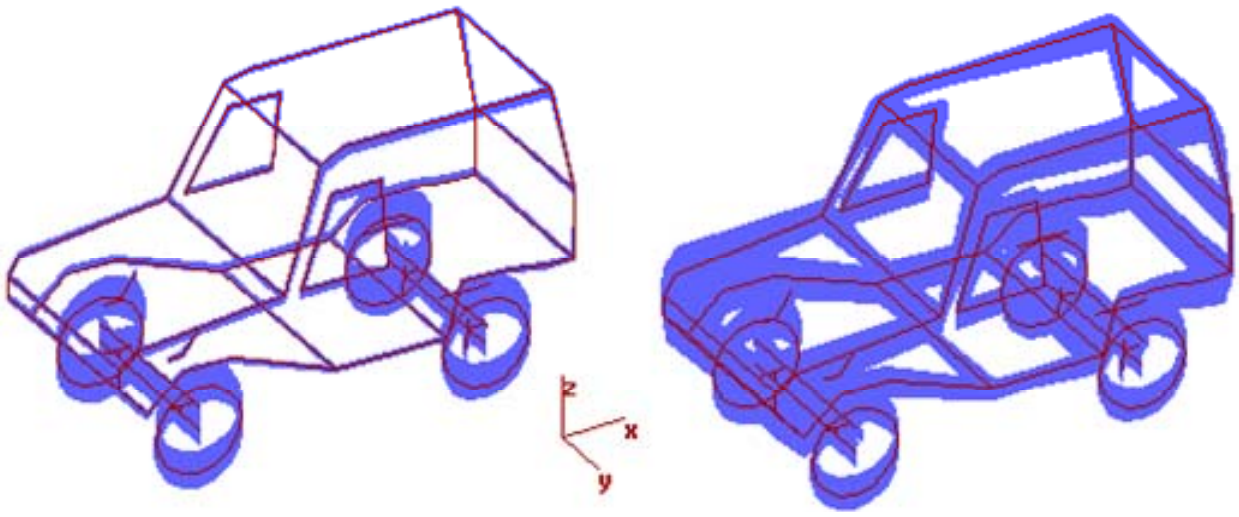


Рис. 5. След траектории колебаний кузова при обычной подвеске – с п р а в а, и управляемой – с л е в а

Исследование нестационарного движения автомобиля с управляемой подвеской

Исследования проводились для следующих режимов движения и маневров автомобиля:

движение по уклону (въезд и съезд с подъема происходит по участкам, на которых угол наклона меняется по косинусоиде);

движение по косогору (въезд и съезд с косогора происходит по участкам, на которых угол наклона меняется по косинусоиде);

разгон – торможение (сила тяги – торможения нарастает за заданное время по косинусоиде):

поворот заданного радиуса (вход и выход из поворота производится по траектории, на которой боковое ускорение нарастает по косинусоиде):

трапецевидная горка, характеризующаяся неплавным сопряжением горизонтальных участков и уклона.

В качестве исходных вариантов были рассчитаны следующие режимы движения и маневров: подъем по уклону 35° и торможение с ускорением 0,8 g, а также движение по косогору в 15° и поворот с радиусом 25 м. Все расчеты проводились на скорости 36 км/час. Длина въезда и съезда на уклон и косогор 10 м, длина уклона и косогора – 20 м. Время нарастания / убывания тормозной силы – 0,4 с, время действия тормозной силы – 2 с. Время входа / выхода из поворота – 1 с, время поворота – 2 с. Параметры горки – высота 1,5 м, въезд – 10 м.

Сравнение расчетных угловых перемещений кузова относительно поперечной оси в случае штатной пассивной подвески для режима подъема по уклону и торможения показало, что при равной абсолютной величине прогибов подвесок в режиме торможения продольный крен кузова достигает больших значений, поэтому в дальнейшем для анализа продольных угловых движений автомобиля с активной подвеской используется режим торможения. Режим разгона автомобиля специально не рассчитывался, так как в рамках данной модели параметры колебаний при разгоне симметричны параметрам колебаний при торможении. Сравнение угловых перемещений кузова относительно продольной оси для штатной подвески при движении по косогору и повороте показало, что качественно такие режимы отличаются мало, поэтому для анализа поперечных угловых движений целесообразно использовать расчет для режима поворота.

На рис. 6 и 7 показано влияние управления подвеской на продольные угловые колебания (относительно оси *Y*) при резком торможении автомобиля.

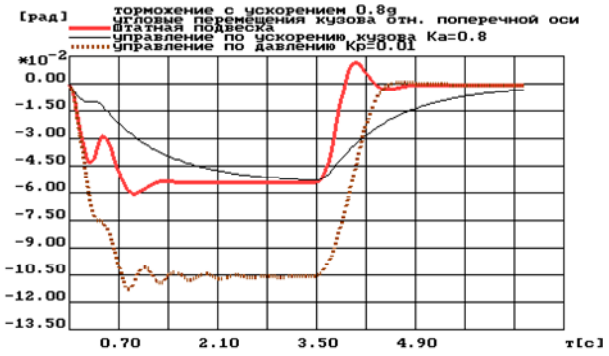
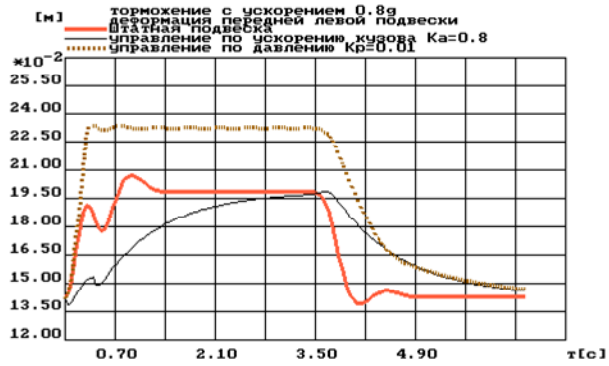
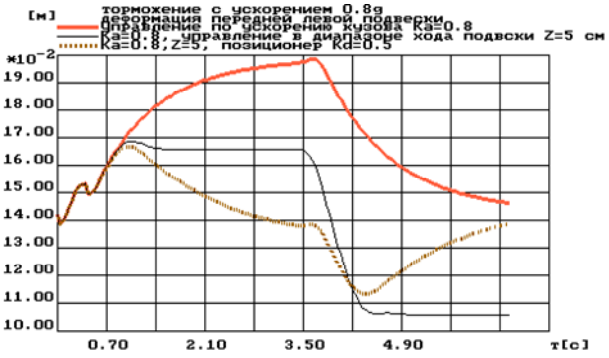


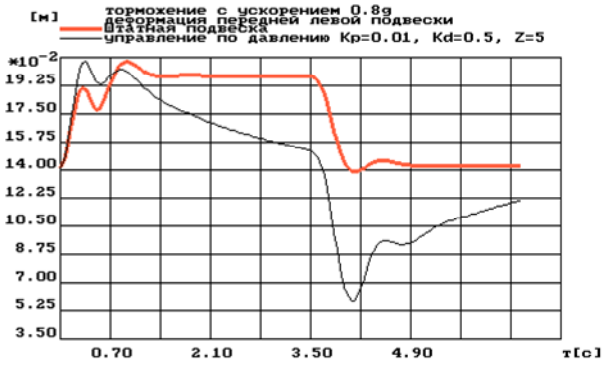
Рис. 6. Угловые перемещения кузова при торможении



а



б



в

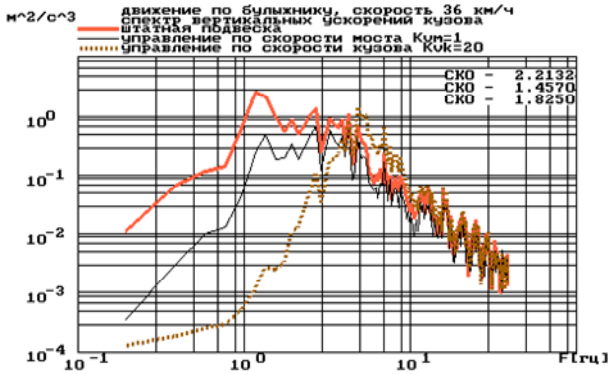
Рис. 7. Деформация подвески:
а – при торможении; *б* – при торможении, управление в диапазоне 5 см и с позиционером; *в* – при торможении, одновременное управление в диапазоне 5 см и с позиционером

Анализ полученных результатов (рис. 6, 7) показывает, что управление по ускорению кузова не увеличивает максимальные угловые перемещения кузова и деформации подвески, а даже делает их более плавными. Управление по давлению вызывает посадку подвески на упоры и поэтому неприемлемо. Введение управления по ускорению кузова в диапазоне хода подвески 5 см приводит к смещению его статического положения (рис. 7*б*). Позиционер возвращает подвеску в статическое положение и уменьшает амплитуду колебаний, хотя суммарный размах не изменяется [7]. Параметры колебаний транспортного средства с активной подвеской хуже, чем со штатной и в случае управления в диапазоне хода подвески по давлению и функционирующем позиционере (рис. 7*в*).

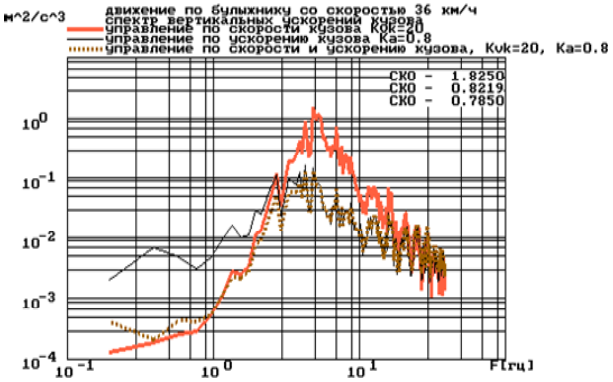
На математической модели были использованы два дополнительных канала управления подвеской – по скорости моста и кузова (рис. 8). Анализ результатов показал, что на случайном профиле такие способы управления дают существенный эффект, но при этом в два раза возрастает потребляемая мощность привода, которая составляет 3–4 кВт на подвеску. Управление по скорости моста снижает вибрации незначительно, а управление по скорости кузова сильно уменьшает колебания в низкочастотной области и увеличивает в высокочастотной. Эффект во всем диапазоне в этом случае достигается при управлении одновременно по скорости и ускорению кузова (см. рис. 8).

Управление по скоростям эффектно при совершении автомобилем маневров, так на режиме торможения уменьшаются прогибы подвесок и как следствие продольный крен кузова. Например, при торможении управление по скорости моста и кузова снижает соответственно прогибы подвески в первом случае на 10–15 %, а во втором, более чем в два раза (рис. 9). При значении коэффициента обратной связи по скорости кузова Kvk = 20, прогиб подвески при торможении отсутствует.

Расчеты показали, что управление по скорости кузова значительнее всего уменьшает продольный крен кузова. При совершении поворота активная подвеска ведет себя так же, как и при торможении, уменьшая крен и прогибы. Таким образом, при определенных законах управления активная подвеска может улучшать боковую устойчивость и управляемость автомобиля. Для исследования эффективности управления подвеской по скоростям моста и кузова проведен анализ динамики преодоления единичной неровности высотой 7 см (режим въезда и съезда).



а



б

Рис. 8. Управление подвески:
а – по скорости моста и кузова; *б* – по скорости и ускорению кузова

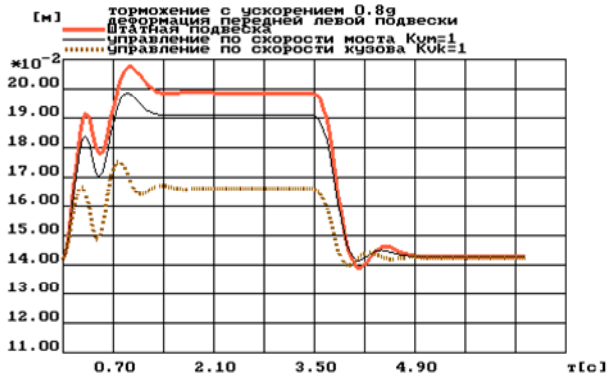


Рис. 9. Деформация подвески при управлении по скорости моста или кузова

Расчеты показали, что при переезде единичной неровности управление по скорости моста снижает максимальные ускорения на кузове почти в два раза, а при управлении по скорости кузова – эффект отсутствует. В тоже время, в последнем случае наблюдается небольшое уменьшение максимальных ускорений и незначительное увеличение минимальных ускорений.

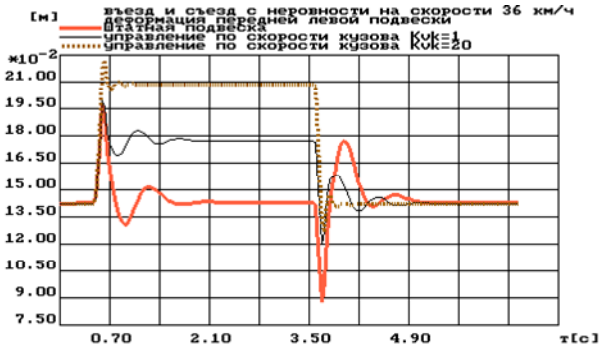
Управление по скорости кузова при малых значениях коэффициента усиления практически не увеличивает максимальную деформацию под-

вески, а при значении Kvk = 20 максимальная деформация увеличивается на 20–30 % (рис. 10*а*).

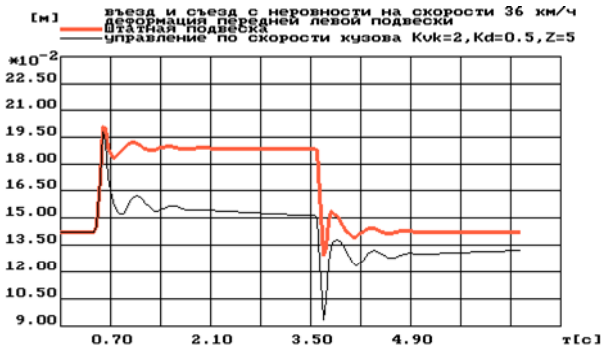
Управление по скорости кузова в диапазоне хода подвески равном 5 см. уменьшает увод статического положения подвески в несколько раз (рис. 10*б*) и одновременно уменьшает в 1,5 раза вертикальные ускорения на кузове.

Исследования показали, что одновременное управление по скорости и ускорению кузова несколько увеличивает прогиб подвески, а введение такого управления только в диапазоне хода подвески (5 см) дает резкое снижение максимальных ускорений (рис. 11) и уменьшает смещение статического положения подвески.

Для исследования особенностей работы активной подвески моделировался въезд на горку высотой 1,5 м по наклону 9 градусов со скоростью 36 км/час. Характерным для этого маневра является то, что подвеска работает почти во всем диапазоне своего хода (0,23 м). Места входа и схода с наклонной поверхности характеризовались ступенчатым изменением угла наклона, что вызывало интенсивные колебания автомобиля на подвеске. При таком маневре управление во всем диапазоне хода подвески вызывает смещение ее статического положения и движение на упорах, что неприемлемо (рис. 12).



а



б

Рис. 10. Переезд ступеньки, деформация подвески:
а – при управлении по скорости кузова; *б* – при управлении по скорости кузова в диапазоне 5 см

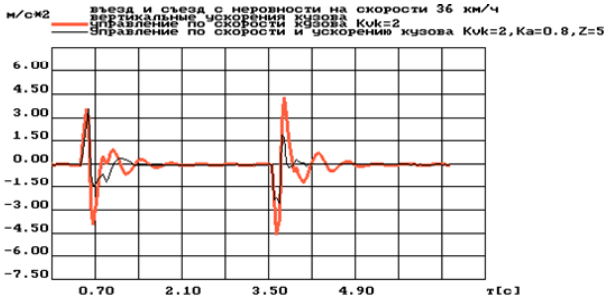


Рис. 11. Переезд ступеньки, вертикальные ускорения кузова при управлении по скорости и ускорению кузова в диапазоне 5 см

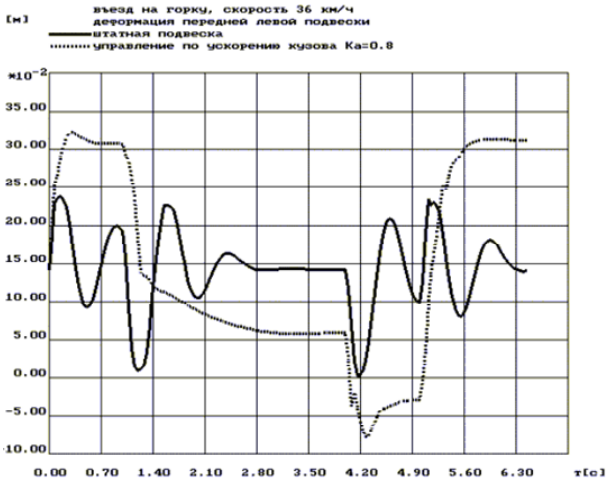


Рис. 12. Деформация подвески при въезде на горку

Такие препятствия, также как и единичная неровность, вызывают необходимость управления только в ограниченном диапазоне хода подвески. Проведенные исследования показали, что управляемая подвеска позволяет достаточно просто с технической точки зрения реализовать характеристику с переменной жесткостью и демпфированием путем введения обратных связей по относительному смещению и скорости, повышая эффективность виброзащиты при движении с максимальными прогибами подвески.

Выводы

1. Максимальный эффект на всех режимах движения автомобиля достигается при управлении подвеской по ускорению и скорости кузова.

2. Управление подвеской по скоростям и ускорениям улучшает показатели устойчивости и управляемости автомобиля за счет уменьшения углов крена относительно продольной и поперечной осей.

3. При наличии информации о макропрофиле или параметрах совершаемого маневра, можно уменьшать коэффициенты обратных связей контуров управления, для снижения отрицательного воздействия активной подвески.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Борисов С. В., Архипов В. И., Осипов В. И.* Подвеска автомобиля: Учебное пособие. – М.: МАДИ, 1995.

2. *Воронов А. А.* Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. – М.: Наука, 1979.

3. *Павлюк А. С.* Подвеска легковых автомобилей: Учебное пособие. Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во Алт. ГТУ, 1996.

4. *Генкин М. Д., Елезов Е. Г., Яблонский В. В.* Методы управляемой виброзащиты машин. – М.: Наука, 1985.

5. *Рыбак Л. А., Синев А. В., Пашков А. И.* Синтез активных систем виброизоляции на космических объектах. – М.: Янус-К, 1997.

6. *Горобцов А. С., Володенков С. В.* Алгоритмы численного интегрирования уравнений движения системы тел с множителями Лагранжа // Машиностроение и инженерное образование. – 2005, № 3, С. 20–27.

7. *Андрейчиков А. В.* Разработка и исследование активных пневматических систем виброизоляции человека-оператора // Известия Вузов. Машиностроение, 1987, № 2, С. 94–98.

УДК 519.23

Н. В. Болдырихин, А. А. Корнеев, С. В. Горюшкин

УПРАВЛЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЯМИ ЗА ПОТОКОМ ОБЪЕКТОВ, ПОЯВЛЯЮЩИХСЯ В ЗОНЕ ВИДИМОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И ИСЧЕЗАЮЩИХ ИЗ НЕЕ В СЛУЧАЙНЫЕ МОМЕНТЫ ВРЕМЕНИ

Ростовский военный институт ракетных войск (boldyrikhin@mail.ru, gors1968@narod.ru)

В статье исследуются особенности синтеза оптимального закона управления наблюдениями за группой объектов, появляющихся в зоне видимости информационной системы (ИС) и исчезающих из нее в моменты времени, соответствующие закономерностям потока случайных событий.

Ключевые слова: динамика группового объекта, задача экстраполяционного типа, стратегии наблюдения.

N. V. Boldyrikhin, A. A. Korneev, S. V. Gorushkin

MANAGEMENT OF SUPERVISION OVER A STREAM OF THE OBJECTS APPEARING IN A VISIBILITY RANGE OF INFORMATION SYSTEM AND DISAPPEARING FROM IT DURING THE CASUAL MOMENTS OF TIME

In article features of synthesis of the optimum law of management by supervision over group of the objects appearing in a visibility range of information system and disappearing from it during the moments of time, corresponding to laws of a stream of casual events are investigated.

Dynamics of group object, supervision strategy.

В статье исследуются особенности синтеза оптимального закона управления наблюдениями за группой объектов, появляющихся в зоне видимости информационной системы (ИС) и исчезающих из нее в моменты времени, соответствующие закономерностям потока случайных событий.

1. Постановка задачи

В качестве модели динамики группового объекта рассмотрим совокупность случайных процессов, заданных уравнениями [1–3]

$$\frac{dx_i}{dt} = A_i x_i + F_i \xi_i, \quad i = \overline{1, \hat{I}(t_к)}, \quad x_i(\tau_i) = x_{iн},$$

$$\tau_i \in [0, t_к], \; t \in [\tau_i, \hat{\tau}'_i], \qquad (1)$$

где

$$\hat{\tau}'_i = \begin{cases} \tau'_i, & \tau'_i \le t_к, \\ t_к, & \tau'_i > t_к; \end{cases} \qquad (2)$$

$x_i = x_i(t) \in R^{n_i}$ – вектор состояния i-го объекта;

$x_{iн}$ – гауссовский вектор, $M[x_{iн}] = x^*_{iн}$,

$$M[(x_{iн} - x^*_{iн})(x_{iн} - x^*_{iн})^T] = K_{iн};$$

τ_i – случайный момент появления i-го объекта;

τ'_i – случайный момент времени исчезновения i-го объекта из зоны видимости ИС;

$A_i = A_i(t) \in R^{n_i \times n_i}$; $F_i = F_i(t) \in R^{n_i \times r_i}$; $\xi_i = \xi_i(t) \in R^{r_i}$ – i-й формирующий шум, $M[\xi_i(t)] = 0$,

$M[\xi_i(t)\xi_i^T(t-\varsigma)] = Q_{i\xi}\delta(\varsigma)$; $Q_{i\xi} \in R^{r_i \times r_i}$;

t_k – время окончания наблюдения;

$\hat{I}(t_к)$ – случайный поток, описывающий закономерности появления объектов в зоне видимости ИС.

Уравнение наблюдения имеет вид

$$\rho = \sum_{i=1}^{\hat{I}(t_к)} \tilde{f}_i \gamma_i H_i x_i + \eta, \; t \in [0, t_к], \; i = \overline{1, \hat{I}(t_к)}, \qquad (3)$$

где $\rho = \rho(t) \in R^m$;

$$\tilde{f}_i = \tilde{f}_i(\tau_i, \hat{\tau}'_i, t) = \begin{cases} 1, & \tau_i \le t \le \hat{\tau}'_i, \\ 0, & t < \tau_i, \; t > \hat{\tau}'; \end{cases} \qquad (4)$$

$\gamma_i = \gamma_i(t)$ – i-я управляющая функция; $H_i = H_i(t) \in R^{m \times n_i}$ – матричная функция, определяющая состав измеряемых параметров i-го объекта; $\eta = \eta(t) \in R^m$ – шум наблюдения, $M[\eta(t)] = 0$; $Q_\eta \delta(\varsigma)$, $Q_\eta \in R^{m \times m}$ – диагональная матрица.

При этом на управляющие функции $y_i(t)$ и матрицы H_i, определяющие состав измеряемых параметров налагаются следующие ограничения

$$\gamma_i(t) \in \Gamma = \{0,1\}, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{I(t_к)} \gamma_i(t) \in \Gamma, \quad (6)$$

$$\int_0^{t_к} \sum_{i=1}^{\hat{I}(t_к)} \gamma_i(t)dt = t_\Sigma < \hat{\tau}'_i \ , \quad (7)$$

$$H_i(t) \in \overline{H}_i(t). \quad (8)$$

Совокупность

$$\{\Pi_i, i = \overline{1, \hat{I}(t_к)}\} = \Pi, \quad (9)$$

где

$$\Pi_i = \{\gamma_i \in \Gamma, H_i \in \overline{H_i}\}, \quad (10)$$

называют планом наблюдений.

Точностные характеристики оценивания траекторий (1) на основании наблюдений (3) описывает совокупность дифференциальных уравнений Риккати относительно корреляционных матриц $K_i(t)$ ошибок фильтрации

$$\frac{dK_i}{dt} = A_iK_i + K_iA_i^T + C_i - \gamma_i\tilde{f}_iK_iB_iK_i, \ i = \overline{1, \hat{I}(t_к)},$$
$$t \in [\tau_i, \hat{\tau}'_i], \quad (11)$$
$$K_i(\tau_i) = K_{i0}.$$

На практике использование математической модели (11) для решения задачи оптимизации наблюдений является затруднительным в силу ее высокой размерности и нелинейности. Воспользуемся подходом, предложенным в [1], и перейдем к проекции гамильтоновой системы, соответствующей (11), на пространство R^{2n_i} переменных. Такая проекция имеет вид

$$\frac{dq_i}{dt} = -A_i^T q_i + \gamma_i \tilde{f}_i B_i p_i,$$

$$\frac{dp_i}{dt} = C_i q_i + A_i p_i, \quad i = \overline{1, \hat{I}(t_к)}, \quad t \in [\tau_i, \hat{\tau}'_i], \quad (12)$$

$$K_{i0}q_{i0} = p_{i0}, \quad i = \overline{1, \hat{I}(t_к)}; \quad (13)$$

Определим критерий качества для задачи выбора оптимальной стратегии наблюдения в виде

$$J = M[\sum_{i=1}^{\hat{I}(t_к)} \omega_i^T p_i(\hat{\tau}'_i)] \to \min_{\Pi}, \quad (14)$$

при условии

$$q_i(\hat{\tau}'_i) = \omega_i. \quad (15)$$

Критерий качества (14) представляет собой аналог эквивалентного критерия L – оптимальности [1].

Таким образом, условия оптимизационной задачи включают совокупность фиктивных динамических систем, описываемых двухточечными краевыми задачами (ДТКЗ) (12), (13), (15) и критерий качества (14). Их особенность связана с наличием априорно неизвестных моментов времени τ_i и τ'_i.

Поставим задачу определить на $[0, t_к]$ оптимальную, в смысле (14), стратегию наблюдения за потоком объектов, траектории которых описываются выражением (1).

2. Решение задачи

Предположим, что заданы плотности вероятностей $W_{i\tau}(\tilde{\tau})$ моментов τ_i появления объектов $(i = \overline{1, \hat{I}(t_к)})$ и плотности вероятностей $W_{i\tau'}(\tilde{\tau}')$ времени их исчезновения из зоны видимости информационной системы.

Поставим в соответствие каждому τ_i и τ'_i центрированные случайные величины

$$\overset{\circ}{\tau}_i = \tau_i - m_{i\tau}, \quad (16)$$

$$\overset{\circ}{\tau}'_i = \tau'_i - m'_{i\tau'}, \quad (17)$$

тогда справедливо следующее утверждение.

Утверждение. *Задача* (11) *со случайным временем начала* τ_i *и окончания решения* τ'_i *и детерминированным начальным условием* $K(\tau_i) = K_{i0}$ *эквивалентна задаче с определенным временем начала* $m_{i\tau}$ *и окончания* $t_к$ *решения и случайным начальным условием*

$$K_i(m_{i\tau}) = \hat{K}_{i0} = K_{i0} - \int_{m_{i\tau}}^{\overset{\circ}{\tau}_i} \Phi_i dt - \int_{m'_{i\tau'}}^{\overset{\circ}{\tau}'_i} \Phi_i dt + \int_{t_к}^{\overset{\circ}{\tau}'_i} \Phi_i dt,$$
$$i = \overline{1, \hat{I}(t_к)}, \quad (18)$$

где $\Phi_i = A_iK_i + K_iA_i^T + C_i - \gamma_iK_iB_iK_i$.

Доказательство Утверждения следует из интегральной формы представления (11).

Пусть

$$\Lambda_i(t) = \begin{bmatrix} \Lambda_{iqq}(t)\Lambda_{iqp}(t) \\ \Lambda_{ipq}(t)\Lambda_{ipp}(t) \end{bmatrix} \quad (19)$$

– фундаментальная матрица системы (12) при

$$\Lambda_i(m_{i\tau}) = \mathrm{E}_i, \quad (20)$$

где $\mathrm{E}_i \in R^{2n_i \times 2n_i}$ – единичная матрица, тогда с учетом Утверждения справедлива следующая теорема.

Теорема. *ДТКЗ* (12), (13), (15) *на неопределенном временном интервале* $[\tau_i, \tau'_i]$ *при детерминированном* K_{i0} *в терминах переменной*

$$\theta = -t + t_к \quad (21)$$

эквивалентна задаче Коши

$$\frac{dq_{i\theta}}{d\theta} = A_i^{\,T} q_{i\theta} - \gamma_i B_i p_{i\theta},$$

$$\frac{dp_{i\theta}}{d\theta} = -C_i q_{i\theta} - A_i p_{i\theta}, \qquad \theta \in [0, t_\kappa - m_{i\tau}], \quad (22)$$

со случайным начальным условием

$$q_{i\theta}(0) = \omega_i,$$

$$p_{i\theta}(0) = \left[\Lambda_{ipq}(t_\kappa) + \Lambda_{ipp}(t_\kappa)\hat{K}_{i0}\right] \times$$

$$\times \left[\Lambda_{iqq}(t_\kappa) + \Lambda_{iqp}(t_\kappa)\hat{K}_{i0}\right]^{-1} \omega_i, \quad (23)$$

где $q_{i\theta} = q_i(-\theta + t_\kappa)$, $p_{i\theta} = p_i(-\theta + t_\kappa)$.

Доказательство теоремы. Введем обозначения $\hat{q}_{i0} = q_i(m_{i\tau})$, $\hat{p}_{i0} = p_i(m_{i\tau})$. В соответствии с (13) $\hat{K}_{i0}\hat{q}_{i0} = \hat{p}_{i0}$. Тогда, в силу определения фундаментальной матрицы (13), получаем:

$$q_i(t_\kappa) = \Lambda_{iqq}(t_\kappa)\hat{q}_{i0} + \Lambda_{iqp}(t_\kappa)\hat{K}_{i0}\hat{q}_{i0},$$

$$p_i(t_\kappa) = \Lambda_{ipq}(t_\kappa)\hat{q}_{i0} + \Lambda_{ipp}(t_\kappa)\hat{K}_{i0}\hat{q}_{i0}. \quad (24)$$

Исключая из (24) $\hat{q}_{i0}$ и учитывая краевое условие (15), преобразуем полученное соотношение к виду

$$q_i(t_\kappa) = \omega_i,$$

$$p_i(t_\kappa) = \left[\Lambda_{ipq}(t_\kappa) + \Lambda_{ipp}(t_\kappa)\hat{K}_{i0}\right] \times$$

$$\times \left[\Lambda_{iqq}(t_\kappa) + \Lambda_{iqp}(t_\kappa)\hat{K}_{i0}\right]^{-1} \omega_i. \quad (25)$$

Введем замену переменных (21). Тогда, с учетом взаимосвязей

$$\frac{dq_i}{dt} = -\frac{dq_{i\theta}}{d\theta}, \quad \frac{dp_i}{dt} = -\frac{dp_{i\theta}}{d\theta}, \quad (26)$$

система уравнений (12) трансформируется в (22), а конечные условия (25) – в начальные условия задачи Коши (23). Теорема доказана.

Рассмотрим последовательность формирования закона управления наблюдениями. Задача управления наблюдениями, условия которой формализованы в виде (12), (13) – (15), может быть решена с использованием принципа максимума.

Гамильтониан для (12) с учетом (18) имеет вид

$$\mathrm{H} = -\alpha \sum_{i=1}^{\hat{I}(t_\kappa)} \gamma_i +$$

$$+ \sum_{i=1}^{\hat{I}(t_\kappa)} \left\{ \varphi_{iq}^{\,T} \left[-A_i^{\,T} q_i + \gamma_i B_i p_i \right] + \varphi_{ip}^{\,T} \left[C_i q_i + A_i p_i \right] \right\}, \quad (27)$$

где $\varphi_{iq}, \varphi_{ip}$ – сопряженные переменные.

Оптимальное управление определяется из условия максимума по П математического ожидания гамильтониана $M[\mathrm{H}]$.

Решающее правило для определения оптимальной стратегии наблюдения имеет вид

$$\gamma^{on}(t) = \begin{cases} 1, & T_i^{on} \ge \alpha, \quad T_i^{on} \ge T_s^{on}, \quad (s = \overline{1, I^{on}},\ s \ne i) \\ 0, & T^{on}{}_i < \alpha, \quad T_i^{on} < T_s^{on}, \end{cases} \quad (28)$$

где I^{on} – равно максимальному значению индекса I для которого выполняется условие

$$m_{i\tau} < t_\kappa. \quad (29)$$

Программные функции и оптимальный состав измеряемых параметров определяется соответственно выражениями

$$T_i^{on} = M[p_i^T \left(H_i^{on}\right)^T Q_\eta^{-1} H_i^{on} p_i], \quad (30)$$

$$H_i^{on} = \arg \max_{H_i \in \overline{H_i}} M[p_i^T H_i^T Q_\eta^{-1} H_i p_i]. \quad (31)$$

Решение оптимизационной задачи требует задания вероятностных характеристик $q_i(t)$ на $[m_{i\tau}, t_\kappa]$. Для их определения воспользуемся утверждением теоремы, сводящей ДТКЗ (12), (13), (15) к задаче Коши. Уравнение, описывающее плотность распределения процесса (22), имеет вид

$$\frac{\partial W_i(Z_i, Y_i, \theta)}{\partial \theta} = \Omega\left\{W_i(Z_i, Y_i, \theta)\right\}, \quad (32)$$

$$W_i(Z_i, Y_i, 0) = \delta(Z_i - \omega_i) W_{i0}(Y_i), \quad (33)$$

где $$\Omega = -\left[A_i^{\,T} Z_i - \gamma_i B_i Y_i\right]^T \nabla_{Z_i} + \left[C_i Z_i + A_i Y_i\right]^T \nabla_{Y_i}; \quad (34)$$

$$\nabla_{Z_i} = \frac{\partial}{\partial Z_i}; \ \nabla_{Y_i} = \frac{\partial}{\partial Y_i}; \ Z_i, Y_i \in R^{n_i};$$

$$\delta(Z_i - \omega_i) = \prod_{j=1}^{n_i} \delta(z_{ji} - \omega_{ji});$$

z_{ji}, ω_{ji} – элементы векторов соответственно Z_i и ω_i.

Отметим, что задача (32), (33) относится к классу линейных задач экстраполяции квазидетерминированных процессов, заданных линейными дифференциальными уравнениями со стохастическими начальными условиями.

4. Заключение

Метод синтеза законов управления наблюдениями за потоками случайных процессов в информационных системах предполагает решение задачи экстраполяционного типа относительно квазидетерминированных процессов, заданных системами линейных дифференциальных уравнений со случайными начальными условиями. В качестве таких уравнений выступают проекции гамильтоновых систем, соответствующих математическим моделям эволюции во времени точностных характеристик линейной фильтрации, на пространство R^{2n_i} переменных. В общем случае определение наилучших стратегий наблюдения

сопряжено со значительными вычислительными затратами, обусловленными необходимостью решения дифференциальных уравнений в частных производных вида (32), поэтому целесообразно использовать гауссовскую аппроксимацию экстраполяционной плотности распределения процесса (22), что позволяет существенно сократить вычисления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Малышев В. В., Красильщиков М. Н., Карлов В. И.* Оптимизация наблюдения и управления летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1989.

2. *Черноусько Ф. Л., Колмановский В. Б.* Оптимальное управление при случайных возмущениях. М.: Наука, 1978.

3. *Григорьев Ф. Н., Кузнецов Н. А., Серебровский А. П.* Управление наблюдениями в автоматических системах. М.: Наука, 1986.

УДК 621.391.1

Ю. Г. Булычев, И. П.Рыбалко, Л. И. Бородин, В. А. Головской

ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В УСЛОВИЯХ НЕПРИМЕНИМОСТИ ГАУССОВСКОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

Ростовский Военный Институт Ракетных Войск (ProfBulychev@yandex.ru)

Предложен метод оценки дискретно-непрерывных марковских процессов на основе быстрого преобразования Фурье и срезывающей функции-регуляризатора в условиях неприменимости традиционного гауссовского приближения. Метод позволяет повысить достоверность приема и обработки информации, поступающей в измерительную систему по радиоканалу, при наличии случайной задержки дискретного сигнала.

Ключевые слова: марковские процессы, дискретное и быстрое преобразования Фурье, апостериорная плотность вероятности, уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова, срезывающая функция-регуляризатор.

Y. G. Bulychev, I. P. Rybalko, L. I. Borodin, V. A. Golovskoy

DIGITAL-CONTINUOUS FILTERING UNDER THE CONDITIONS OF INAPPLICABILITY OF THE GAUSSIAN APPROXIMATION

An estimation method of the discrete-continuous markovian processes on the basis of the fast Fourier transformation and shearing function-regularisator under of inapplicability traditional Gaussian approximation is proposed. The method allows increasing the authenticity of the reception and processing of information arriving into the measuring system through the radio channel given the random delay of the digital signal.

Markovian processes, digital and fast Fourier transformations, aposteriori probability density, Fokker-Plank-Kolmogorov equation, a shearing function-regularisator.

В [1, 2, 3] задача фильтрации дискретно-непрерывных марковских процессов решается традиционно в гауссовском приближении, условия применимости которого существенно ограничены [4] (например, при решении нелинейных задач или в условиях малых отношений сигнал/шум, когда апостериорная плотность вероятности (АПВ) становится полимодальной).

В данной работе указанная задача рассматривается для случая произвольных АПВ.

Пусть передаваемый дискретный сигнал имеет вид $s(t,\theta)=\sum_{k=0}^{K} s_{i_k}(t-kT)$, $i_k \in \overline{1,I}$, где $s_r(t), r \in \overline{1,I}$ – элементарный сигнал, тождественно равный нулю вне тактового интервала [0,T); I – число используемых элементарных сигналов; $\theta=\theta(t)$ – кусочно-постоянная функция, удовлетворяющая условию:

$$\theta=\theta_k = i_k \forall t \in [t_k, t_{k+1}), k=\overline{0,K-1}.$$

Функция $\theta(t)$ определяет выбор того или иного элементарного сигнала для каждого тактового интервала $[t_k, t_{k+1})$ длительностью $T = t_{k+1} - t_k$. По аналогии с [2] при наличии случайной задержки $\tau=\tau(t)$ принятый полезный сигнал можно представить так

$$s(t,\theta,\lambda) = s\left[t-\tau, \theta(t-\tau), \beta(t-\tau)\right],$$

где $\lambda = \left[\lambda_q, q=\overline{1,Q}\right]^T = \left[\tau, \beta_q, q=\overline{1,Q-1}\right]^T$ – совокупный диффузионный марковский процесс, в котором $\beta_q = \beta_q(t)\ (q=\overline{1,Q-1})$ – компоненты процесса $\lambda=\lambda(t)$, описывающие непрерывные случайные параметры сигнала.

Полагаем заданным множество

$$\Lambda_\delta = \left[-\Lambda_{\delta 1}+\overline{\lambda}_1, \overline{\lambda}_1+\Lambda_{\delta 1}\right] \times \ldots \times \left[-\Lambda_{\delta Q}+\overline{\lambda}_Q, \overline{\lambda}_Q+\Lambda_{\delta Q}\right]$$

наиболее вероятных значений векторного процесса $\lambda(t)$, где $\overline{\lambda_i} = \overline{\lambda_i}(t)$ – математическое ожидание скалярного процесса $\lambda_i(t)$, а $\left[-\Lambda_{\delta i}+\overline{\lambda}_i, \overline{\lambda}_i+\Lambda_{\delta i}\right]$ – диапазон его наиболее вероятных значений. Считается, что множество Λ_δ имеет такие размеры, что для заданного $\varepsilon_\delta > 0$ выполняется неравенство $P\left[\lambda \notin \Lambda_\delta\right] < \varepsilon_\delta$,

где $P[\bullet]$ – вероятность события, указанного в квадратных скобках.

Величину θ можно рассматривать как дискретный информационный параметр, принимающий постоянные значения из множества $\{1,2,...,I\}$ на тактовых интервалах $[t_k, t_{k+1})$, где $t_k = kT + \tau(t_k), k = \overline{0,K}$.

В дальнейшем будем полагать, что значения дискретного случайного параметра θ на разных тактовых интервалах образуют простую однородную цепь Маркова на *I* состояний. Считается, что матрица вероятностей перехода из *j*-го состояния в *i*-е $\Pi = \{\pi_{ji}\}, j,i = \overline{1,I}$ и вектор вероятностей начальных состояний $P_0 = [p_{i_0}, i_0 = \overline{1,I}]$ известны. Априорные сведения о процессе λ задаются уравнением Фоккера-Планка-Колмогорова для априорной плотности вероятности $p_{pr}(t,\lambda)$:

$$\frac{\partial p_{pr}(t,\lambda)}{\partial t} = -\sum_{q=1}^{Q} \frac{\partial}{\partial \lambda_q}\left[a_q(t,\lambda) p_{pr}(t,\lambda)\right] +$$

$$+\frac{1}{2}\sum_{q,r=1}^{Q} \frac{\partial^2}{\partial \lambda_q \partial \lambda_r}\left[b_{qr}(t,\lambda) p_{pr}(t,\lambda)\right] = L\{p_{pr}(t,\lambda)\}, (1)$$

где $L\{\bullet\}$ – оператор Фоккера-Планка-Колмогорова, a_q и b_{qr} – коэффициенты сноса и диффузии соответственно.

Полагаем так же заданными начальные $p_{pr}(t_0,\lambda) = p_{pr,0}(\lambda)$, $\lambda_i \in [-\infty,\infty]$ и граничные $p_{pr}(t,\lambda) \to 0$, $a_q(t,\lambda) p_{pr}(t,\lambda) \to 0$, $b_{qr}(t,\lambda) p_{pr}(t,\lambda) \to 0$, $\frac{\partial}{\partial \lambda_q}\left[a_q(t,\lambda) p_{pr}(t,\lambda)\right] \to 0$, $\frac{\partial^2}{\partial \lambda_q \partial \lambda_r}\left[b_{qr}(t,\lambda) p_{pr}(t,\lambda)\right] \to 0$ условия при $\lambda_q, \lambda_r \to \pm\infty$, $t \in [t_0, T]$, $q,r = \overline{1,Q}$.

Очевидно, что выполнение данных условий позволяет обеспечить соблюдение неравенства $P[\lambda \notin \Lambda_\delta] < \varepsilon_\delta$, путем выбора соответствующего Λ_δ при заданном ε_δ.

Поступивший по радиоканалу информационный сигнал $\xi(t) = s(t,\theta,\lambda) + n(t)$ представляет аддитивную смесь полезного сигнала $s(t,\theta,\lambda)$ и белого гауссовского шума, характеристики которого заданы: $M[n(t)] = 0$, $M[n(t)n(t+\Delta t)] = \frac{N_0}{2}\delta(\Delta t)$, $M[\bullet]$ – символ математического ожидания. Вектор параметров $\{\lambda(t), \theta(t-\tau(t))\}$ образует многокомпонентный смешанный марковский процесс, если обеспечивается выполнение соотношений $b_{1r} \equiv 0 \ \forall\ r = \overline{1,Q}$, $a_1 < 1$, учитывающих появление задержки $\tau(t)$ в принятом сигнале [2].

Для описания $\tau(t)$ можно воспользоваться, следующей моделью [2]: $\dot{\tau} = \Omega$, $\dot{\Omega} = -\alpha\Omega + n_\Omega$, где $n_\Omega = n_\Omega(t)$ – формирующий белый гауссовский шум с характеристиками: $M[n_\Omega(t)] = 0$, $M[n_\Omega(t) n_\Omega(t+\Delta t)] = (N_\Omega/2)\delta(\Delta t)$.

В данной модели величина Ω зависит от причин возникновения задержки, например, от отношения случайной составляющей скорости передатчика (приемника) $V_r = V_r(t)$ к скорости распространения электромагнитных волн c, то есть $\Omega = V_r/c$. Если $\tau(t)$ обусловлена нестабильностью частоты генератора тактов, то $\Omega(t) = \delta f_T(t) T \lhd$, где $\delta f_T(t)$ – случайная составляющая частоты генератора тактов.

Применим к смешанной АПВ многокомпонентного дискретно-непрерывного марковского процесса метод разделения переменных: $p(t,\theta,\lambda) = p(t,\lambda) P(t,\theta \mid \lambda)$, где $p(t,\lambda)$ – АПВ непрерывных параметров λ; $P(t,\theta \mid \lambda)$ – условная апостериорная вероятность дискретного параметра θ при фиксированном λ. По аналогии с [1] для АПВ непрерывных параметров имеем

$$\frac{\partial p(t,\lambda)}{\partial t} = L\{p(t,\lambda)\} + [F(t,\lambda) - F(t)] p(t,\lambda), \quad (2)$$

где $F(t,\lambda) = \sum_{i_k=1}^{I} F_{i_k}(t,\lambda) P(t,\theta = i_k \mid \lambda)$,

$$F(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} ... \int F(t,\lambda) p(t,\lambda) d\lambda_1 ... d\lambda_Q,$$

$$F_{i_k}(t,\lambda) =$$

$$= \frac{1}{N_0}\left[2\xi(t) s(t - kT - \tau, \theta = i_k, \lambda) - s^2(t - kT - \tau, \theta = i_k, \lambda)\right].$$

Поскольку решение уравнения (2) весьма сложно, на практике обычно ограничиваются гауссовским приближением, которое справедливо, как правило, при решении линейных задач и больших отношениях сигнал/шум. Требуется с использованием алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ) разработать новый подход к интегрированию уравнения (2), позволяющий снять данные ограничения и реализуемый в реальном времени.

Известно [4, 5], что реализация операций дифференцирования, соответствующих оператору $L\{\bullet\}$, на базе алгоритмов БПФ существенно зависит от уровня усечения и гладкости функции $p(t,\lambda)$ на границе множества Λ_δ. Для корректного выполнения данных операций воспользуемся продолжением $p(t,\lambda)$ с множества Λ_δ на множество $\Lambda \supset \Lambda_\delta$ с использованием математического аппарата срезывающих функций [6]. Данный аппарат позволяет сформировать вспомогательную функцию-регуляризатор $g(\lambda)$, которая является нефинитной функцией, бесконечно дифференцируемой на всем пространстве R^Q. Кроме того, как $g(\lambda)$, так и все ее частные производные равны нулю при

$$\lambda \notin \Lambda = \left[-\Lambda_1 + \overline{\lambda}_1, \overline{\lambda}_1 + \Lambda_1\right] \times ... \times \left[-\Lambda_Q + \overline{\lambda}_Q, \overline{\lambda}_Q + \Lambda_Q\right].$$

На множестве Λ_δ функция $g(\lambda)$ тождественно равна единице, а на множестве Λ / Λ_δ данная функция гладко убывает до нуля вместе со своими производными. Используя функцию-регуляризатор $g(\lambda)$, преобразуем АПВ $p(t,\lambda)$ к виду $\tilde{p}(t,\lambda) = g(\lambda)p(t,\lambda)$, $\lambda \in \Lambda \supset \Lambda_\delta$. Очевидно, что функция $\tilde{p}(t,\lambda)$, а так же ее частные производные, до второго порядка включительно, непрерывны на множестве Λ, а на его границе равны нулю. В качестве срезывающей функции-регуляризатора примем [6]:

$$g(\lambda) = \int_{-\Lambda_1}^{\Lambda_1} ... \int_{-\Lambda_Q}^{\Lambda_Q} \omega_{\delta_{1/2},...,\delta_{Q/2}}(\lambda_1 - \overline{\lambda}_1 - \varphi_1, ..., \lambda_Q - \overline{\lambda}_Q - \varphi_Q) d\varphi_1 ... d\varphi_Q,$$

$$\lambda \in \Lambda \subset R^Q,$$

где $$\omega_{\delta_{1/2},...,\delta_{Q/2}}(\lambda) = \prod_{q=1}^{Q} \frac{1}{\delta_q/2} \exp(\frac{\lambda_q}{\delta_q/2}) = \prod_{q=1}^{Q} \frac{1}{\delta_q/2} \omega(\frac{\lambda_1}{\delta_1/2}, ..., \frac{\lambda_Q}{\delta_Q/2}),$$

$$\omega(\lambda_1, ..., \lambda_Q) = \prod_{q=1}^{Q} \frac{1}{\sigma^Q} \exp(1 - \frac{1}{1-\lambda_q^2}) \lhd \quad \forall \quad |\lambda_q| < 1,$$

$q = \overline{1,Q}$, в противном случае $\omega(\lambda_1, ..., \lambda_Q) \equiv 0$.

Данная срезывающая функция $g(\lambda)$ в полной мере удовлетворяет условиям, налагаемым на функцию-регуляризатор, и позволяет преобразовать АПВ $p(t,\lambda)$ (где $\lambda \in (-\infty, +\infty)$) в функцию $\tilde{p}(t,\lambda) = g(\lambda)p(t,\lambda)$ (где $\lambda \in \Lambda$), которая повторяет функцию $p(t,\lambda)$ на множестве Λ_δ, а вне множества Λ срезает ее. На всем Λ функция $\tilde{p}(t,\lambda)$ является гладкой функцией, обнуляющейся вместе со своими производными на его границе.

Используя результаты теоремы о плотных линейных многообразиях можно показать, что для фиксированного t и произвольного числа $\varepsilon_0 > 0$ существует такое $\delta_0 < \frac{1}{4}(\varepsilon_0 / L_0)^d$, что функция $\tilde{p}(t,\lambda)$ будет отличаться от $p(t,\lambda)$ на множестве Λ по норме пространства $\tilde{L}_d[\Lambda]$ меньше, чем на ε_0, где $L_0 = \|p(t,\lambda)\|_{C[\Lambda]}$, $d = \text{const}$. Для получения решения уравнения (2) с заданной точностью в реальном времени по аналогии с [4] воспользуемся рекуррентным представлением уравнения (2) в дискретной форме. Для этого перейдем от (2) к уравнению для ненормированной меры $U(t,\lambda)$:

$$\frac{\partial U(t,\lambda)}{\partial t} = L\{U(t,\lambda)\} + F(t,\lambda)U(t,\lambda). \qquad (3)$$

На основе метода Эйлера и срезывающих функций применительно к уравнению (3) составим рекуррентное соотношение

$$\tilde{U}(t + \Delta t, \lambda) = \tilde{U}(t,\lambda) + \Delta t\left\{L\left\{\tilde{U}((t,\lambda)\right\} + F(t,\lambda)\tilde{U}(t,\lambda)\right\},$$

где $\tilde{U}(t,\lambda) = c(t)\tilde{p}(t,\lambda) = c(t)g(\lambda)p(t,\lambda)$,

$c(t) = \int_{\Lambda} ... \int \tilde{U}(t,\lambda) d\lambda_1 .. \lambda_Q$ – коэффициент нормировки.

Выполняя операции дифференцирования, соответствующие оператору $L\{\bullet\}$, с использованием прямого $\Phi[\bullet]$ и обратного $\Phi^{-1}[\bullet]$ преобразований Фурье и переходя от непрерывных преобразований к дискретным (путем применения теоремы отсчетов в области существования $\tilde{U}(t,\lambda)$) по каждому из параметров λ_q, получим

$$\tilde{U}(t + \Delta t, k) = \tilde{U}(t,k) - \Delta t\left\{\Phi^{-1}\left\{\sum_{q=1}^{Q} \Phi\left[a_q(t,k)\tilde{U}(t,k)\right] jn_q \Delta\vartheta_q + \frac{1}{2}\sum_{q,r=1}^{Q} \Phi\left[b_{q,r}(t,k)\tilde{U}(t,k)\right] n_q \Delta\vartheta_q n_r \Delta\vartheta_r\right\} - F(t,k)\tilde{U}(t,k)\right\}, \qquad (4)$$

где $k = \left\{k_q \Delta\lambda_q, q = \overline{1,Q}\right\}$, $n = \left\{n_q \Delta\vartheta_q, q = \overline{1,Q}\right\}$, $\Delta\vartheta_q = \frac{2\pi}{\Delta\lambda_q N}$, N – размерность сетки по каждому из параметров λ_q (с целью сокращения записей принято $N_1 = N_2 = ... = N_Q = N$). В дальнейшем отсчеты $\tilde{U}(t,k)$, приходящиеся на

множество Λ_δ, будем называть "естественными", а на множество Λ/Λ_δ – "искусственными". Следует помнить, что только при наличии "искусственных" отсчетов достигается регуляризирующий эффект от применения срезывающей функции-регуляризатора $g(\lambda)$ (то есть, не накапливается большая ошибка при выполнении операций дифференцирования с помощью БПФ). Алгоритм (4) позволяет вычислить значения ненормированной меры в узлах сетки по непрерывному векторному параметру λ. Переход от ненормированной меры к искомой АПВ производится по формуле

$$\tilde{p}(t,k) = c^{-1}(t)\tilde{U}(t,k),$$

где

$$c(t) = \int_{\Lambda}\dots\int \sum_{k_1=0}^{N-1}\dots\sum_{k_Q=0}^{N-1} \tilde{U}(t,k)\prod_{q=1}^{Q} sinc\left[\frac{\pi}{\Delta\lambda}(\lambda_q - k_q\Delta\lambda)\right]\prod_{q=1}^{Q} d\lambda_q =$$

$$= (\Delta\lambda)^Q \sum_{k_1=0}^{N-1}\dots\sum_{k_Q=0}^{N-1}\tilde{U}(t,k), \quad \mathrm{sinc}x = \sin x/x\,.$$

Приближенная искомая АПВ для фиксированного момента t восстанавливается в соответствии с теоремой отсчетов:

$$\tilde{p}(t,\lambda) = \sum_{k_1=0}^{N-1}\dots\sum_{k_Q=0}^{N-1}\tilde{p}(t,k)\prod_{q=1}^{Q}\mathrm{sinc}\left[\frac{\pi}{\Delta\lambda}(\lambda_q - k_q\Delta\lambda)\right],$$

$$\lambda \in \Lambda\,. \qquad (5)$$

Реализация алгоритма (4) в реальном времени обеспечивается за счет применения эффективных алгоритмов БПФ. Условная вероятность дискретного параметра θ равна [2,3]

$$P(t,\theta = i_k \mid \lambda) =$$

$$= \exp\left[\int_{kT+\tau}^{t} F_{i_k}(t_1,\lambda)dt_1\right] P(t = kT+\tau+0, \theta = i_k \mid \lambda)\times$$

$$\times\left\{\sum_{j=1}^{I}\exp\left[\int_{kT+\tau}^{t} F_j(t_1,\lambda)dt_1\right] P(t = kT+\tau+0, \theta = j \mid \lambda)\right\}^{-1} \qquad (6)$$

для точек t, лежащих внутри тактового интервала; $P(t+0,\theta = i_k \mid \lambda) = \sum_{j=1}^{I}\pi_{ji_k}\, p(t-0,\theta = j \mid \lambda)$ – для граничных точек $t = kT+\tau$.

Оптимальный приемник должен принимать решение по правилу

$$\theta^*_k = \max_{i_k}{}^{-1}\left\{\int_{\Lambda}\dots\int \tilde{p}\left[kT+\tau,\theta = i_k,\lambda\right]d\lambda_1\dots d\lambda_Q\right\}, \qquad (7)$$

где $\tilde{p}\left[kT+\tau,\theta = i_k,\lambda\right] =$

$$= \tilde{p}\left(kT+\tau,\lambda\right)P\left(kT+\tau,\theta = i_k \mid \lambda\right);$$

θ^*_k – оптимальная оценка дискретного параметра; $\max_{i_k}{}^{-1}\{f(i_k)\}$ – функция, обратная функции максимума, то есть θ^*_k равна тому i_k, при котором $f(i_k)$ – максимальна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тихонов В. И., Харисов В. Н.* Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991.

2. *Тихонов В. И., Харисов В. Н.* Оптимальный прием дискретных сигналов со случайной задержкой // Радиотехника и электроника,1980, Т.25, № 3, С. 530–539.

3. *Тихонов В. И., Харисов В. Н.* Оптимальный прием дискретных сигналов и тактовая синхронизация // Радиотехника и электроника, 1980, Т.25, № 3, С. 540–551.

4. *Булычев Ю. Г., Погонышев С. А.* Квазиоптимальная нелинейная фильтрация на базе дискретного пространственно-частотного преобразования Фурье // Радиотехника, 1989, № 1, С. 55–57.

5. *Булычев Ю. Г., Бурлай И. В., Погонышев С. А.* Численно-аналитический метод дифференцирования функций с ограниченным спектром на основе формулы Котельникова // Журнал вычислительной математики и математической физики, 1992, Т. 32, № 3, С. 396–407.

6. *Треногин В.А.* Функциональный анализ. – М.: Наука, 1980.

УДК 519.254

В. А. Ветюгов, С. В. Горюшкин, О. Ф. Чепков

ПРИМЕНЕНИЕ БЫТОВОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСА ИЗ ТРАНСПОРТНО-ПУСКОВОГО КОНТЕЙНЕРА

[4] Государственный Центральный Межвидовой полигон МО РФ, войсковая часть 74322 (gors1968@narod.ru)

В статье дается краткое изложение способа определения основных параметров выброса ракеты из транспортно-пускового контейнера при минометном старте, интересного своей простотой подготовки и проведения измерений с помощью бытовой видеокамеры. Оценка параметров выброса производится по методу максимума апостериорной вероятности с обеспечением требуемых среднеквадратических погрешностей измерений.

Ключевые слова: оптические траекторные измерения, сеанс измерений, уравнение движения, поправки измерений, среднеквадратическая ошибка, центр картинной плоскости, поле зрения видеокамеры.

V. A. Vetjugov, S. V. Gorjushkin, O. F. Chepkov

APPLICATION A HOUSEHOLD VIDEOCAMERA FOR DEFINITION PARAMETRES OF EMISSION FROM THE TRANSPORT-STARTING CONTAINER

In article the summary of a way to define the key parametres of emission a rocket from the transport-starting container at mortar start is given. It is interesting by the simplicity of preparation and carrying out of measurements by a household videocamera. The estimation of parametres of emission is made on a method maximum of a posteriori probability with maintenance demanded mean-square errors of measurements.

The optical trajectory measurements, session of measurements, the movement equation, amendments of measurements, mean-square errors, the centre of a picture plane, videocamera's field of vision.

В статье дается краткое изложение способа определения основных параметров выброса ракеты из транспортно-пускового контейнера при минометном старте, интересного своей простотой подготовки и проведения измерений с помощью бытовой видеокамеры. Оценка параметров выброса производится по методу максимума апостериорной информации с обеспечением требуемых среднеквадратических погрешностей измерений.

Практически все современные ракетные комплексы (РК) осуществляют запуск ракеты непосредственно из транспортно-пускового контейнера (ТПК). Ракета должна выброситься с заданной начальной скоростью V_o, с заданным углом тангажа на заданную высоту, на которой происходит запуск маршевого двигателя.

На этапе создания РК все параметры выброса отрабатываются путем катапультирования макета ракеты. В дальнейшем параметры выброса проверяются в ходе контрольно-серийных пусков ракет.

Для определения параметров выброса ракеты из ТПК необходимы оптические измерения. Основными измерительными средствами для таких измерений являются станции ФРС-2 "Дятел". Предприятиями-разработчиками ракетных комплексов в том числе использовались и скоростные кинокамеры типа "Гладиолус". На полигонах МО РФ таких кинокамер практически не осталось, а если где-то они и сохранились, то имеются большие проблемы с эксплуатацией (отсутствие запчастей, проблемы с кинопленкой и др.).

Получение измерений с помощью станций ФРС-2 "Дятел" и других оптических средств весьма проблематично из-за трудности обеспечения прямой видимости на пусковую установку со штатных мест их размещения на измерительных пунктах. В этом случае в настоящее время удобно для целей определения параметров выброса использовать видеокамеры без предъявления дополнительных требований к ним, т. е. в том числе и бытовые.

Описанный ниже способ опробован в составе ПИК войсковой части 15644 в трех экспериментах катапультирования макетов ракет и более 10 пусках ракет.

Организация измерений

Исходными данными для планирования сеанса измерений являются:

априорная высота запуска маршевого двигателя H_3;

угол бросания ракеты $\alpha_б$;

азимут прицеливания $A_{пр}$.

На линии, проходящей через центр проекции пусковой установки на земле или вблизи ее под азимутами $A_1 = A_{пр} + 90°$ или $A_2 = A_{пр} - 90°$, выбирается любая разрешенная точка для установки видеокамеры $Р_{ВК}$ с обеспечением прямой видимости на ТПК (рис. 1*а*).

Замеряется расстояние S_n от пусковой установки до точки стояния видеокамеры. Точного измерения расстояния не требуется. Измерения можно проводить рулеткой или даже шагами.

По измеренному расстоянию определяется установочный размер l_y поля зрения видеокамеры по горизонтали по формуле:

$$l_y = \frac{\sqrt{(S_н^2 + h_к^2)} \cdot H_з \cdot a}{S_n \cdot (1 - \delta) \cdot в} \qquad (1)$$

где $S_н$ – настроечная длина от точки стояния видеокамеры до настроечного размера поля зрения видеокамеры (см. рис. 1*б*). Обычно для S_H задается величина от 2 до 3 м;

$h_к$ – расстояние от поверхности земли до середины объектива видеокамеры (см. рис. 1*б*);

a, $в$ – соотношение сторон поля зрения видеокамеры соответственно по горизонтали и вертикали. Обычно a = 4, $в$ = 3;

δ – коэффициент погрешности замера S_n.

Для варианта измерения шагами δ принимает значение от 0,1 до 0,2.

Для варианта измерения замера рулеткой δ = 0,05.

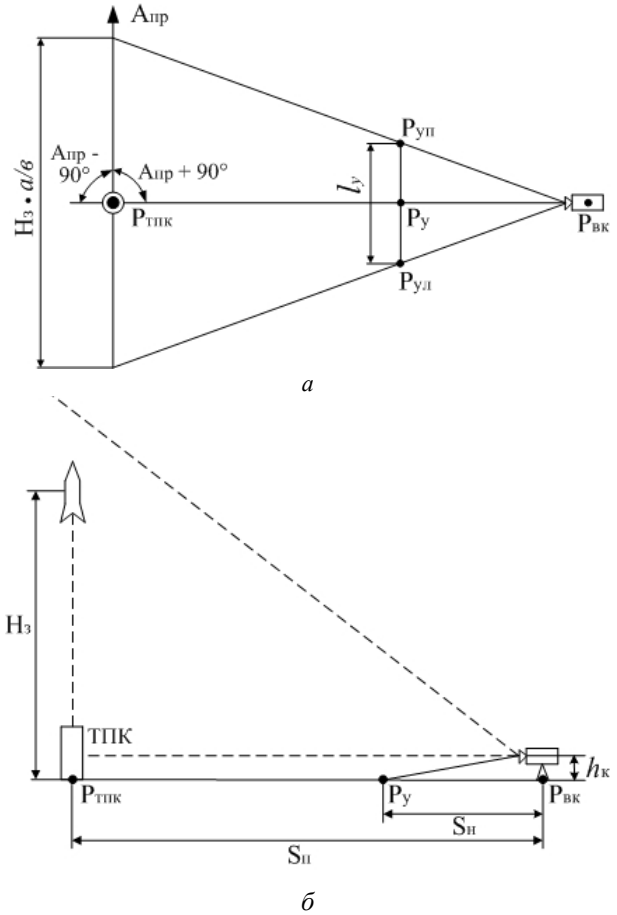


Рис. 1. Схема проведения измерений на стартовой позиции

Настройка поля зрения видеокамеры производится следующим образом:

– переключатель Fokus переводится в положение Manual (ручной) в режиме Camera. Для получения четкой фокусировки повернуть кольцо фокусировки.

– над точкой $Р_{ВК}$ устанавливается штатив с видеокамерой. От точки $Р_{ВК}$ в любом удобном направлении отмеряется расстояние S_h до точки $P_У$.

– на линии, проходящей через точку $P_У$ перпендикулярно направлению $P_{ВК}P_У$ обозначаются точки $P_{УЛ}$ и $P_{УП}$ на расстоянии от $P_У$ равном $0{,}5l_y$. На земле эти точки обозначаются любыми предметами: заранее заготовленными марками, местными предметами, например камушками, или личными предметами (ручка, карандаш и др.).

– видеокамера наводится таким образом, чтобы видны были точки $P_{УЛ}$ и $P_{УП}$. Линия $P_{УЛ}$ $P_{УП}$ должна быть параллельна горизонтальным рамкам поля зрения визира или откидного дисплея видеокамеры и проходить через центр картинной плоскости. Кнопкой управления вариообъективом делается "наезд" таким образом, чтобы точки $P_{УЛ}$ и $P_{УП}$ были расположены по краям поля зрения видеокамеры (вблизи вертикальных рамок дисплея или визира). При этом сохраняется положение линии $P_{УЛ}$ $P_{УП}$ по центру поля зрения и параллельно горизонтальным краям рамки кадра.

– видеокамера наводится на ТПК так, чтобы ТПК был внизу и посредине поля зрения.

– в заданное время видеокамера включается на запись. Если видеокамера расположена в опасной зоне, оператор включает ее в во время

$$T_{ВКЛ} = T_{СТ} - \Delta T, \qquad (2)$$

где $T_{СТ}$ – время старта ракеты,

ΔT – интервал времени, в течение которого оператор гарантированно эвакуируется из опасной зоны.

Оцениваемые параметры и расчетные соотношения

Тело, брошенное под углом $\alpha_б$ к горизонту с начальной скоростью V_0 движется под действием постоянной силы тяжести P, направленной вертикально вниз (рис. 2).

При этом делается допущение, что сила сопротивления воздуха при скорости бросания <50 м/с оказывает пренебрежимо малое влияние на определение оценок по сравнению с ошибками измерений.

Для произвольной точки $M(x,y)$ траектории тела можно составить уравнение движения

$$m\vec{V} = \vec{P}t + m\vec{V}_o \text{ или } \vec{V} = \vec{g}t + \vec{V}_o, \quad (3)$$

откуда

$$V_x = V_0 \mathrm{Cos}\alpha_б$$
$$V_y = V_0 \mathrm{Sin}\alpha_б - gt$$

Модуль скорости V определяется из выражения

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{V_0^2 Cos^2\alpha_б + (V_o Sin\alpha_б - gt)^2} \quad (4)$$

После преобразований

$$V = \sqrt{V_o^2 - 2gV_o Sin\alpha_б + g^2t^2} \quad (5)$$

Измеряемой величиной является модуль скорости V с момента выхода ракеты из транспортно-пускового контейнера (ТПК), при этом, минимальное число оцениваемых параметров равно трем (V_0 , $\alpha_б$ и t), так как неизвестна начальная скорость бросания, угол бросания и время движения ракеты внутри ствола ТПК.

Выражением (5) была определена зависимость от времени и модуля скорости тела, летящего под действием силы тяжести без учета силы сопротивления воздуха, брошенного под углом $\alpha_б$ к горизонту с начальной скоростью V_0.

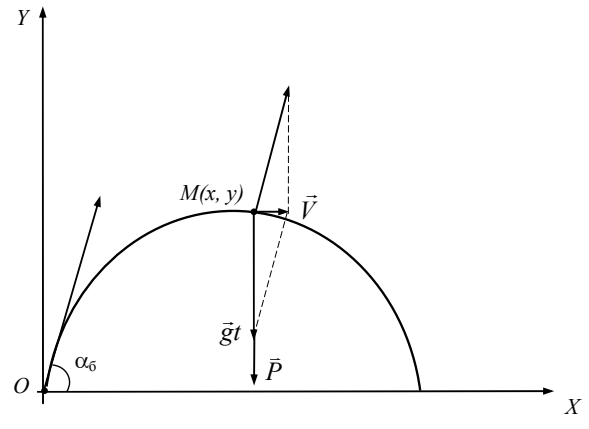


Рис. 2

С учетом незнания точного времени выброса ракеты из ТПУ, выражение (5) можно представить

$$V_{p_i} = \sqrt{V_0^2 - 2gV_0 Sin\alpha_б (t_i + \Delta t) + g^2(t_i + \Delta t)^2}, \quad (6)$$

где: Δt – интервал времени с момента прекращения действия на ракету сил бросания до момента времени появления полной проекции ракеты в кадре фильма.

Данное выражение можно представить известной функциональной зависимостью:

$$y = f(x;\ a_1,\ a_2 \ldots a_m) \quad (7)$$

Пусть при $x = x_1,\ x_2,\ \ldots\ x_N\ (N > m)$ известны с некоторой точностью значения y_1 , y_2 , . . . y_N . Требуется найти значения параметров $a_1,\ a_2,\ \ldots\ a_m$. Для нашего случая на моменты времени $x_i = t_i$ известны измерения $y_i = V_{u_i}$ и требуется найти параметры $a_1 = V_0$, $a_2 = \alpha_б$, $a_3 = \Delta t$.

V_{u_i} определяется из выражения:

$$V_{u_i} = \frac{\Delta s \cdot L}{l \cdot \Delta t_к}$$

где Δs – проекция расстояния пройденного ракетой за период времени Δt_k в картинной плоскости;

L – длина ракеты или любой другой известный геометрический размер (например, диаметр ракеты, длина раскрашенного образа и др.);

l – размер проекции длины L в плоскости снимка;

Δt_k – время между двумя соседними снимками.

Система уравнений для N измерений будет иметь вид:

$$\left.\begin{array}{l} y_1 = f(x_1,\ a_1,\ a_2,\ a_3) \\ y_2 = f(x_2,\ a_1,\ a_2,\ a_3) \\ y_k = f(x_k,\ a_1,\ a_2,\ a_3) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ y_N = f(x_N,\ a_1,\ a_2,\ a_3) \end{array}\right\} \quad (8)$$

Уравнения поправок к величинам a_1, a_2 , a_3 имеют вид:

$$\begin{aligned} \hat{a}_1 &= a_1^0 + \hat{\lambda}_1 \\ \hat{a}_2 &= a_2^0 + \hat{\lambda}_2 \\ \hat{a}_3 &= a_3^0 + \hat{\lambda}_3 \end{aligned} \quad (9)$$

Предполагая, что поправки $\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \hat{\lambda}_3$ достаточно малы, а функция f – достаточно гладкая функция, разлагаем правые части системы уравнений (8) в ряд Тейлора в окрестности точки (a_1^0, a_2^0, a_3^0), удерживая лишь члены первого порядка относительно поправок, т. е.

$$f_k(x_k;\ a_1,\ a_2,\ a_3) = f(x_k;\ a_1^0,\ a_2^0,\ a_3^0) + \sum_{i=1}^{3} f'_{a_i}(x_k; a_1^0, a_2^0, a_3^0)\cdot\lambda_i \quad (10)$$

$$i = 1,\ 2,\ 3;\ k = 1,\ 2,\ \ldots\ N$$

Вводя для сокращения записи обозначения

$$\begin{aligned} f'_{a_i}(x_k; a_1^0, a_2^0, a_3^0) &= \varphi_{k,i} \\ y_k - f(x_k; a_1, a_2, a_3) &= h_k \end{aligned} \quad (11)$$

для отыскания поправок λi, получим систему N линейных алгебраических уравнений (систему условных уравнений), в которых $\varphi_{k,i}$ и h_k известны.

$$\left.\begin{aligned}
&\varphi_{11}\lambda_1 + \varphi_{12}\lambda_2 + \varphi_{13}\lambda_3 = h_1\\
&\varphi_{21}\lambda_1 + \varphi_{22}\lambda_2 + \varphi_{23}\lambda_3 = h_2\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
&\varphi_{k1}\lambda_1 + \varphi_{k2}\lambda_2 + \varphi_{k3}\lambda_3 = h_k\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
&\varphi_{N1}\lambda_1 + \varphi_{N2}\lambda_2 + \varphi_{N3}\lambda_3 = h_N
\end{aligned}\right\} \qquad (12)$$

Учитывая то, что мы имеем определенную априорную информацию об ошибках измерений (скорости при оценивании параметров траектории), об угле бросания $\alpha_б$ – из исходных данных или путем определения из первых 2–3 снимков, о Δt – из первого снимка, где наблюдается полный образ ракеты после выхода из ТПК), целесообразно определять искомые оценки методом максимума апостериорной вероятности.

Бейсова оценка вектора $\left\|\hat{\Lambda}_{Б}\right\|$ определяется из системы уравнений

$$\left\|\hat{\Lambda}_{Б}\right\| = \left\|C_{Б}\right\|^{-1} \cdot (\left\|\Phi\right\|^{T} \cdot \left\|P\right\| \cdot \left\|H\right\| + \left\|G\right\| \cdot \left\|\overline{\Lambda}\right\|) \text{ , (13)}$$

где:

$$\left\|C_{з}\right\| = \left\|\Phi\right\|^{T} \cdot \left\|P\right\| \cdot \left\|\Phi\right\| + \left\|G\right\| \qquad (14)$$

$\left\|\Phi\right\| = \begin{Vmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \varphi_{13} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \varphi_{23} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ \varphi_{N1} & \varphi_{N2} & \varphi_{N3} \end{Vmatrix}$ – матрица (размера $N\times3$) частных производных;

$\left\|\Phi\right\|^{T} = \begin{Vmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{21} & \cdots & \varphi_{N1} \\ \varphi_{12} & \varphi_{22} & \cdots & \varphi_{N2} \\ \varphi_{13} & \varphi_{23} & \cdots & \varphi_{N3} \end{Vmatrix}$ – матрица (размера $3\times N$) транспонированная по отношению к матрице $\left\|\Phi\right\|$;

$\left\|\hat{\Lambda}\right\| = \begin{Vmatrix} \hat{\lambda}_1 \\ \hat{\lambda}_2 \\ \hat{\lambda}_3 \end{Vmatrix}$ – вектор столбец (размера 3×1) оцениваемых параметров;

$\left\|H\right\| = \begin{Vmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_k \\ \cdots \\ h_N \end{Vmatrix}$ – вектор столбец (размера $N\times1$) ошибок измерений;

$\left\|\overline{\Lambda}\right\| = \begin{Vmatrix} \overline{\lambda}_1 \\ \overline{\lambda}_2 \\ \overline{\lambda}_3 \end{Vmatrix}$ – вектор столбец (размера 3×1) математических ожиданий поправок к оцениваемым параметрам. Формируется по исходным данным;

$\left\|P\right\| = \begin{Vmatrix} P_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & P_2 & 0 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & P_N \end{Vmatrix}$ – матрица (размера $N\times N$) весов измерений.

Вес P_i определяется из выражения:

$$P_i = \frac{1}{(V_{0cp} - V_{0_i})^2},$$

где

$$V_{0_i} = \frac{Y_i - \frac{gt_i^2}{2}}{t_i \sin\alpha_б};$$

$$V_{0cp} = \sum_{i=1}^{N} \frac{V_{0_i}}{N};$$

N – количество временных сечений.

$\left\|G\right\| = \begin{Vmatrix} g_1 & 0 & 0 \\ 0 & g_2 & 0 \\ 0 & 0 & g_3 \end{Vmatrix}$ – матрица (размера 3×3) весов априорных поправок к оцениваемым параметрам;

$$g_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i};\ i = 1, 2, 3.$$

Значение σ_0 и σ_i берутся из исходных данных.

Частные производные φ_{i1}, φ_{i2}, φ_{i3} для матрицы $\left\|\Phi\right\|$ рассчитываются из выражений:

$$\varphi_{i1} = \frac{\partial V_i}{\partial V_o} = \frac{V_o - g\sin\alpha_б(t_i + \Delta t)}{\sqrt{V_o^2 - 2gV_o\sin\alpha_б(t_i + \Delta t) + g^2(t_i + \Delta t)^2}}$$

$$\varphi_{i2} = \frac{\partial V_i}{\partial \alpha_б} = -\frac{gV_o\cos\alpha_б(t_i + \Delta t)}{\sqrt{V_o^2 - 2gV_o\sin\alpha_б(t_i + \Delta t) + g^2(t_i + \Delta t)^2}}$$

$$\varphi_{i3} = \frac{\partial V_i}{\partial \Delta t} = \frac{g^2 t - gV_o\sin\alpha_б}{\sqrt{V_o^2 - 2gV_o\sin\alpha_б(t_i + \Delta t) + g^2(t_i + \Delta t)^2}}$$

Ошибки измерений h_i определяются из выражения:

$$h_i = V_{u_i} - V_{p_i}$$

Анализ выражения (14) показывает, что

$$\left\|C_{з}\right\| = \left\|G\right\| + \left\|C\right\|, \qquad (15)$$

где: $\left\|C\right\|$ – матрица Грама.

Считая, что априорные дисперсии оцениваемых параметров ограничены, т. е. $\sigma^2_{\lambda_i} < \infty$, видим, что все элементы g_i матрицы $\left\|G\right\|$ положительно определены. Это означает, что матрица $\left\|G\right\|$ положительно определена. Но так как матрица Грама $\left\|C\right\|$ неотрицательно определенная, то из соотношения (15) следует, что матрица $\left\|C_{з}\right\|$ определенная.

Следовательно система уравнений:

$$\|C_Б\| \cdot \|\hat{\Lambda}\| = \|\Phi\|^T \cdot \|P\| \cdot \|H\| + \|G\| \cdot \|\overline{\Lambda}\| \quad (16)$$

имеет единственное решение даже в случае вырожденной матрицы Грама $\|C\|$, откуда следует, что учет априорной информации дает возможность получить раздельные оценки параметров даже в случае, если их функции влияния линейно зависимы. Такой возможностью не обладает ни метод наименьших квадратов, ни метод максимального правдоподобия.

Корреляционная матрица представляется уравнением:

$$\|K_{\hat{\lambda}_Б}\| = \sigma_0^2 \|C_Б\|^{-1} \|C\| \ \|C_Б\|^{-1} \quad (17)$$

СКО оцениваемых параметров определяется:

$$\hat{\sigma}_{\lambda_i} = \hat{\sigma}_0 \sqrt{\|C_Б\|^{-1} \|C\| \cdot \|C_Б\|^{-1}}, \quad (18)$$

где:

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{(\|H\|^T \cdot \|P\| \cdot \|H\| - \|H\|^T \|P\| \cdot \|\Phi\| \cdot \|\overline{\Lambda}\|)}{N - 3}}. \quad (19)$$

Выводы

1. Представленный способ удобен тем, что не требует сложных и трудоемких операций по подготовке и проведению сеанса измерений, таких как оборудование пункта измерений, промышленной сети для электроснабжения, проведения геодезических работ по привязке места установки видеокамеры и ориентиров.

2. Для проведения измерений достаточно видеокамеры, штатива и рулетки. Подготовка и проведение измерений осуществляется оператором. На подготовку к проведению измерений требуется не более 30 минут.

3. Способ обеспечивает определение параметров выброса ракеты из ТПК с требуемыми среднеквадратическими погрешностями (СКП). Например, СКП определения начальной скорости выброса ракеты V_o должна быть не более 3 м/с. По результатам проведенных натурных работ на полигоне СКП определения V_o не превысили 2 м/с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гудзовский В.А., Худяков С. Т.* Баллистика ракет. М.: МО СССР, 1971.

2. *Дубовик А. С.* Фотографическая регистрация быстропротекающих процессов. М.: Наука, 1975.

3. *Жданюк Б. Р.* Основы статистической обработки траекторных измерений. М.: Советское радио, 1978.

4. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. М.: Наука, 1984.

5. *Лобанов А. Н.* Фототопография. М.: Недра, 1983.

6. *Новицкий П. В., Зофград И. А.* Оценка погрешностей результатов измерений. Ленинград: Энергоатомиздат, 1985.

УДК 621.837

А. А. Гончаров

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КЛИНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ СВОБОДНОГО ХОДА В УСЛОВИЯХ СКОЛЬЗЯЩЕГО КОНТАКТА

Волгоградский государственный технический университет (dtm@vstu.ru)

Моделирование процессов самозаклинивания клиновых механизмов свободного хода и определение его наиболее важных триботехнических характеристик, исходя из решений статической контактной задачи.

Ключевые слова: механизм свободного хода, напряжение, перемещение, силы трения.

A. A. Goncharov

MODELING OF PROCESSES OF POWER INTERACTION OF WEDGE MECHANISMS OF FREE RUNNING IN A SLIDING CONTACT

The results of numerical simulation of contact interaction of the elements of wedge mechanisms of free running is providing wedge.

Mechanisms of free running, stress, moving, the friction force.

Клиновые МСХ с дополнительной кинематической связью ведущего и ведомого элементов [1], по критериям быстродействия, нагрузочной способности, угловой жесткости и износостойкости следует отнести к числу наиболее перспективных для использования в высокоскоростных силовых инерционно-импульсных приводах. Принцип их действия, основанный на передаче крутящего момента за счет сил трения, предопределяет в качестве центральной проблемы конструкционного анализа исследование механики контактного взаимодействия элементов – процесса определяющего функционирование и эксплуатационные свойства МСХ.

Клиновые МСХ представляют собой неконсервативные механические системы пере-

менной структуры, поведение которых зависит от истории нагружения. Силовое взаимодействие их элементов осуществляется в условиях скользящего контакта при действии переменных нагрузок, приведенных к ведущему и ведомому звеньям механизма. Замкнутый эксплуатационный цикл МСХ, в соответствии с характером приложения функциональной нагрузки, подразделяется на четыре периода, в пределах которых механизм находится в различных кинематических состояниях. В заклиненном состоянии осуществляется совместное движении элементов и передача крутящего момента, в период свободного хода ведущие и ведомые элементы МСХ движутся независимо друг от друга, а заклинивание и расклинивание являются переходными процессами между заклиненным состоянием и свободным ходом. В этой связи, практическое применение результатов исследований механики контактного взаимодействия должно быть связано не только с анализом прочности, жесткости, износостойкости конструкции, но и с рассмотрением других не менее важных специфических вопросов теории клиновых механизмов – получением оценок их работоспособности. В узком смысле этого слова под работоспособностью, следует понимать способность МСХ включаться при действии функциональной нагрузки и выключаться после ее снятия.

Принципиально важным для адекватного моделирования поведения указанной механической системы является описание внутренних связей и определение сил трения, создающих сопротивление относительному движению тел в процессе нагружения. При этом следует отметить степень значимости реалистического воспроизведения неидеальных связей в областях контакта клина с обоймами – элемента, посредством которого осуществляется силовое замыкание ведущих и ведомых звеньев МСХ. При формулировках контактных задач трение обычно учитывается заданием феноменологического соотношения между нормальными и касательными усилиями, действующими в области контакта. Наиболее часто используется закон сухого трения Амонтона [2], который налагает ограничения на величину касательных поверхностных усилий в областях контакта тел и определяет два состояния их фрикционного взаимодействия – жесткое сцепление и относительное проскальзывание соответственно:

$$|\sigma_s| < f|\sigma_n|, \quad |\sigma_s| \geq f|\sigma_n|, \qquad (1)$$

где σ_s, σ_n – касательные и нормальные поверхностные усилия, f – реализуемый коэффициент трения скольжения.

В сложившейся практике проектирования условия включения МСХ фрикционного типа определяют с помощью геометрических критериев самоторможения тел, которые при заданных коэффициентах трения, реализуемых на контактных поверхностях, связывают относительные размеры геометрических параметров элементов [1, 3]. Однако определяющие конфигурацию элементов МСХ соотношения нельзя использовать для нахождения абсолютных размеров механизма, выбор которых при проектном расчете связан с критериями прочности и жесткости конструкции, а также величиной момента трения, реализуемого МСХ. Кроме этого такой подход не позволяет исследовать поведение механизма при сложном нагружении, которое имеет место в реальных условиях эксплуатации. Очевидно, что дальнейшее развитие теории клиновых МСХ должно базироваться на более совершенных расчетных моделях, учитывающих влияние не только всех основных конструктивных параметров механизма, но и распределение сил трения на контактных поверхностях элементов. В данном случае нет альтернативы использованию в качестве теоретических критериев, определяющих кинематическое состояние МСХ, соотношений (1). В статье представлены учитывающая эти ограничения неконсервативная модель клиновых МСХ и результаты исследований, которые связаны с изучением влияния контактных сил трения на поведение механизма при упругом деформировании его элементов.

1. Рассмотрим плоскую механическую систему, образованную элементами МСХ под действием внешней статической нагрузки, приведенной к валу–эксцентрику и ведомой обойме соответственно (рис. 1). Упругие свойства тел определяются значениями материальных констант – модуля Юнга и коэффициента Пуассона. Будем считать, что нагрузка передается только через фрикционный контакт клина с обоймами и по ширине тел распределена равномерно; элементы МСХ имеют идеально сопрягаемые контактные поверхности; вал-эксцентрик является абсолютно жестким телом, обоймы, подшипник и клин – идеально упругими; в области контакта вала-эксцентрика с жестко закрепленным в ведущей обойме радиальным подшипником скольжения, отсутствует трение, в областях контакта клина с обоймами силы трения подчиняются закону сухого трения Амонтона, элементы МСХ находятся в условиях плоского напряженного состояния.

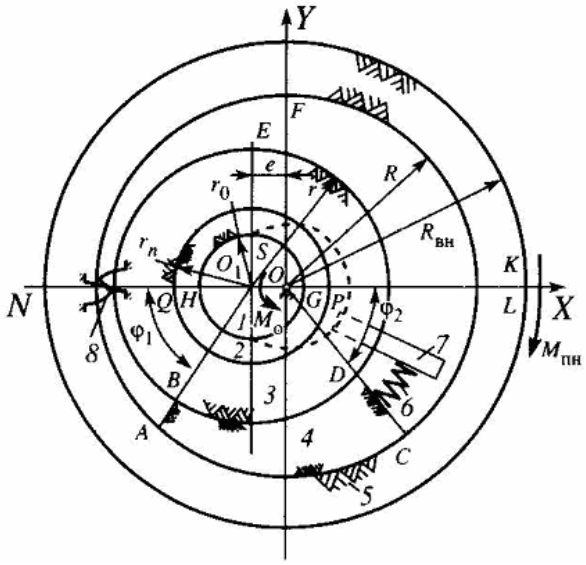


Рис. 1. Клиновой МСХ с кинематической связью. Конструктивные элементы:
1 – вал-эксцентрик; *2* – подшипник; *3* – ведущая обойма; *4* – клин; *5* – ведомая обойма; *6* – пружина; *7* – упор; *8* – зубчатое зацепление. Геометрические параметры: r_o, r_n, r, R, $R_{вн}$ – радиусы вала, подшипника, ведущей и ведомой обойм соответственно; e – эксцентриситет; φ_1, φ_2 – углы радиальных срезов клина

Процесс квазистатического нагружения МСХ, элементы которого изначально свободны от напряжений, осуществляется крутящими моментами внешней (M_o) и полезной ($M_{пн}$) нагрузок в условиях малых деформаций. В схематизированном виде история нагружения МСХ при заклинивании может быть представлена в следующем виде: $M_o = 0,...M_o^{\max}$, $M_{пн} = \text{const}$.

В качестве параметра, связанного с процессом деформирования, используем малый угол поворота жесткого вала-эксцентрика ε относительно общего центра механизма в направлении заклинивания. На каждом этапе нагружения величина момента M_o пропорциональна значению этого угла, определяющего как размеры области контакта вала с подшипником, так и интегральное значение момента. При отсутствии сил трения в области внедрения GH вала в тело подшипника упругие перемещения происходят по нормали к недеформированной поверхности подшипника [4].

Распределения нормальных давлений (σ_n) в области контакта эксцентрика с ведущей обоймой связаны со значением момента внешней нагрузки интегральным соотношением: $M_o = r_o e \int_{GH} \sigma_n \sin\varphi d\varphi$. При выполнении проектного или проверочного расчетов МСХ подбор угла поворота эксцентрика ε в соответствии с задаваемой величиной момента M_o может осуществляться с помощью итерационной процедуры.

Приведенная к ведомой обойме МСХ полезная нагрузка, моделируется приложением равномерно распределенных касательных усилий (σ_s) на участке *KL* наружного контура: $M_{пн} = R_{вн}^2 \sigma_s \Delta\psi$, где $\Delta\psi$ – центральный угол, определяющий протяженность участка, усилие поджимающей клин пружины – заданием нормальных давлений на локальном участке границы *DC*.

НДС упругих элементов механизма описывает замкнутая система уравнений линейной теории упругости. При отсутствии массовых сил и статическом нагружении уравнения равновесия, зависимости Коши и соотношения напряжение-деформация для рассматриваемой системы изотропных тел записываются в следующем виде [5]:

$$\sigma_{ij,j} = 0;\ \varepsilon_{ij} = 0,5\left(u_{i,j} + u_{j,i}\right);$$

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ji} = 2G\left(\varepsilon_{ij} + \upsilon\varepsilon_{kk}\delta_{ij}/\left(1-2\upsilon\right)\right),$$

$$\left(i,j = 1,2\right),$$

где $u_i, \varepsilon_{ij}, \sigma_{ij}$ – отнесенные к недеформированному состоянию вектор малых перемещений, а также тензоры малых деформаций и напряжений соответственно, G – модуль сдвига, υ – коэффициент Пуассона, δ_{ij} – символ Кронекера, запятая перед индексом означает частное дифференцирование по соответствующим координатам.

Смешанные граничные условия на внешних контурах тел выражаются через нормальные (*n*) и касательные (*s*) компоненты поверхностных усилий и перемещений: $u_n = u_n^*(x, y)$, $\sigma_s = 0$, $(x, y) \in GH$; $\sigma_s = \sigma_n = 0$, $(x, y) \in GSH$, *BED*, *KNL*, *AB*; $\sigma_n = \sigma_n^*(x, y)$, $\sigma_s = 0$, $(x, y) \in$ CD; $\sigma_s = \sigma_s^*(x, y)$, $u_n = 0$, $(x, y) \in KL$, где x, y – декартовы координаты граничных точек, $u_n^*(x, y)$, $\sigma_s^*(x, y)$, $\sigma_n^*(x, y)$ – соответствующие действию M_o, $M_{пн}$ и усилию пружины перемещения и напряжения на контурах тел. Здесь и в дальнейшем буквенные обозначения границ и элементов МСХ соответствуют обозначениям и позициям на рис. 1. Параллельно могут моделироваться условия контактного взаимодействия элементов МСХ в режиме останова. В этом случае $M_{пн} = 0$, и ведомая обойма закреплена по наружному контуру: $u_n = u_s = 0$, $(x, y) \in KLNK$.

Таблица 1

Граничные условия в областях контакта элементов МСХ

Контактная зона	Элементы контактной пары	Тип контакта	Контактные условия на сопряженных элементах	
			Кинематические	Статические
GH	Вал 1 – подшипн. 2	Отсутствие трения	$U_n^1 = -U_n^2$	$\sigma_s^2 = 0$
QP	Подшипн. 2 – обойма 3	Жесткое сцепление	$U_n^2 = -U_n^3$ $U_s^2 = -U_s^3$	$\sigma_n^2 = \sigma_n^3$ $\sigma_s^2 = \sigma_s^3$
BD	Обойма 3 – клин 4	Учет сил трения	$U_n^3 = -U_n^4$	$\sigma_n^3 = \sigma_n^4$ $\lvert\sigma_s^3\rvert \le f_{BD}\lvert\sigma_n^3\rvert$ $\lvert\sigma_s^4\rvert \le f_{BD}\lvert\sigma_n^4\rvert$
AC	Клин 4 – обойма 5	Учет сил трения	$U_n^4 = -U_n^5$	$\sigma_n^4 = \sigma_n^5$ $\lvert\sigma_s^4\rvert \le f_{AC}\lvert\sigma_n^4\rvert$ $\lvert\sigma_s^5\rvert \le f_{AC}\lvert\sigma_n^5\rvert$

Систему уравнений дополняют сформулированные в табл. 1 условия их контактного взаимодействия. Знак минус в условиях непрерывности перемещений является следствием противоположных направлений локальных координат на поверхностях контакта тел, а f_{BD}, f_{AC} – реализуемые на поверхностях клина коэффициенты трения.

2. Численная реализация контактной задачи осуществлялась методом граничных элементов (МГЭ) [6]. Разработанный итерационный алгоритм построен на поэтапном решении задач теории упругости при последовательном изменении граничных условий в областях контакта клина с обоймами в соответствии с ограничениями, налагаемыми по закону трения на величину касательных усилий. Для реализации контактных ограничений использовалось часто применяемое в механике фрикционного взаимодействия допущение об отсутствии влияния касательных сил на нормальные давления в областях контакта [2]. Дискретизация контуров геометрической модели МСХ производилась прямолинейными граничными элементами (ГЭ), в пределах которых напряжения и смещения имели постоянный закон распределения. Для моделирования состояний жесткого сцепления или относительного скольжения тел в областях клина с обоймами применялись контактные ГЭ. Их набор формирует два множества элементов, находящихся в указанных состояниях. Верификация соответствующего статуса ГЭ на каждом этапе нагружения осуществлялась в зависимости от соотношений между локальными нормальными и касательными усилиями в центре элемента, согласно приведенным в таблице ограничениям.

Гранично-элементная аппроксимация контактной задачи посредством прямого метода граничных интегралов приводит к формируемой для узловых значений нормальных и касательных перемещений (u_n, u_s), и поверхностных усилий (σ_n, σ_s) системе алгебраических уравнений следующего вида:

$$Y_s^i = \sum_{j=1}^{N} C_{ss}^{ij} \cdot X_s^j + \sum_{j=1}^{N} C_{sn}^{ij} \cdot X_n^j;$$

$$Y_n^i = \sum_{j=1}^{N} C_{ns}^{ij} \cdot X_s^j + \sum_{j=1}^{N} C_{nn}^{ij} \cdot X_n^j; \ (i = 1,...,N), \qquad (2)$$

где N – общее число элементов в гранично-элементной модели, Y_s^i, Y_n^i – линейные комбинации известных параметров, задаваемых как граничные условия, $C_{ss}^{ij},...,C_{nn}^{ij}$ – коэффициенты влияния, связанные с неизвестными граничными параметрами X_s^i, X_n^j.

Решение задачи состояло в определении контактных характеристик с учетом изменения области контакта вала с обоймой и состояния фрикционного сцепления обойм с клином в процессе инкрементального нагружения МСХ. На каждой итерации статус контактных ГЭ соответствовал условиям равновесия механической системы и совместности деформаций.

Краткое описание контактного алгоритма: на первой итерации решение задачи (2) соответствует условиям жесткого сцепления тел, в соответствии с ограничениями (1) анализируется состояние фрикционного контакта клина с обоймами, и на участках контактных поверхностей, где теоретически выполняются условия $|\sigma_s| > f|\sigma_n|$ на последующей итерации производится расчет касательных усилий через значения нормальных усилий предыдущей итерации согласно равенству $|\sigma_s| = f|\sigma_n|$. Итерационный процесс продолжается до прекращения изменений в состоянии контактирующих элементов.

3. Возможности неконсервативной математической модели использовались при рассмотрении двух важных аспектов контактной проблемы клиновых МСХ, связанных с определением условий их самозаклинивания при действии функциональной нагрузки, и величины передаваемого момента – наиболее важного параметра методики проектного расчета.

К числу наиболее важных результатов исследования следует отнести установленную при

моделировании зависимость процесса самозаклинивания МСХ от условий нагружения. В процессе численного моделирования были определены существенные различия в поведении МСХ, находящихся в условиях простого и сложного нагружения. В условиях простого нагружения МСХ с закрепленной ведомой обоймой крутящим моментом M_o решение контактной задачи позволяет при заданной величине коэффициента трения f_{AC} определить соотношения геометрических параметров элементов МСХ, при которых механизм является самотормозящимся. В этом случае реализация процесса самоторможения не зависит от уровня прилагаемой внешней нагрузки.

В условиях сложного нагружения действие переменной нагрузки $M_o = 0,...M_o^{\max}$, $M_{\text{пн}} = \text{const}$ определяет множество состояний МСХ. Его элементы находятся в условиях скользящего контакта, вплоть до реализации самозаклинивания, когда $M_{\text{тр}}^{\max} = M_{\text{пн}}$, где $M_{\text{тр}}^{\max}$ – соответствующий действию $M_{\text{o}}^{\max}$ максимальный момент трения, реализуемый на границе клина с ведомой обоймой. Данное равенство обусловливает состояние статического равновесия МСХ. Таким образом, процедура решения контактной задачи, построенная на поэтапном увеличении нагрузки M_o, позволяет определить два кинематических состояния системы: статическое равновесие (самозаклинивание) МСХ и относительное проскальзывание его ведущих и ведомых элементов при $M_{\text{тр}} < M_{\text{пн}}$. Так как действие M_o, создавая давление на клин, одновременно инициирует его относительное скольжение, для передачи крутящего момента посредством сил трения является необходимым выполнение условия $M_{\text{o}}^{\max} > M_{\text{пн}}$. Следовательно, величина $M_{\text{тр}}^{\max}$ ограничивает предельное значение момента полезной нагрузки, приложенного к ведомой обойме механизма, и является важнейшей триботехнической характеристикой, обусловливающей выбор конструктивных параметров механизма и всего привода. Его интегральное значение определяют распределения касательных усилий (сил трения) в зоне контакта клина с ведомой обоймой: $M_{\text{тр}}^{\max} = R \int_{AC} \sigma_s dl$.

На рис. 3–5 представлены результаты, иллюстрирующие решения контактных задач. Расчеты выполнялись при помощи разработанной системы автоматизированного моделирования НДС элементов клиновых МСХ на сетке из 1560 граничных элементов для следующих значений геометрических и упругих параметров модели: e = 5 мм; r_o = 10 мм; r_n = 12 мм; r = = 29 мм; R = 35 мм; $R_{\text{вн}}$ = 50 мм; $\varphi_1 = \varphi_2 = 60°$; $E_2 = 1{,}05 \cdot 10^5$ МПа; $\nu_2 = 0{,}33$; $E_3 = E_4 = E_5 = 2{,}1 \cdot 10^5$ МПа; $\nu_3 = \nu_4 = \nu_5 = 0{,}27$. Для вычисления полей напряжений и перемещений использовалось около $2 \cdot 10^5$ внутренних точек.

Итерационная процедура нахождения зон с различными условиями фрикционного состояния в области контакта клина с ведомой обоймой, закрепленной по наружному контуру, показана на рис. 2. Размеры зон жесткого сцепления и относительного проскальзывания тел определены с помощью графических зависимостей модуля отношения нормальных и касательных поверхностных усилий $|\sigma_s / \sigma_n|$ [2]. Обозначения кривых соответствуют номеру выполненной итерации. Расчеты выполнялись при значении коэффициента трения f = 0,12 на обеих контактных поверхностях клина.

Анализ картины поэтапного изменения размеров указанных зон позволяет отметить существенные различия в распределениях контактных характеристик при решениях задач с жестким сцеплением тел и с учетом сил трения. Применение континуальной модели определяет максимальные размеры зоны сцепления клина с обоймой (кривая *1*). Выполнение процедур контактного алгоритма окончательно устанавливает значительно меньшие (на 75 %) размеры указанной зоны (кривая *8*). Исходя из этого, можно заключить, что решения первой задачи дает завышенную количественную оценку условий сцепления элементов МСХ, а в отдельных случаях, вполне вероятно, что и неверную качественную оценку кинематического состояния данной механической системы.

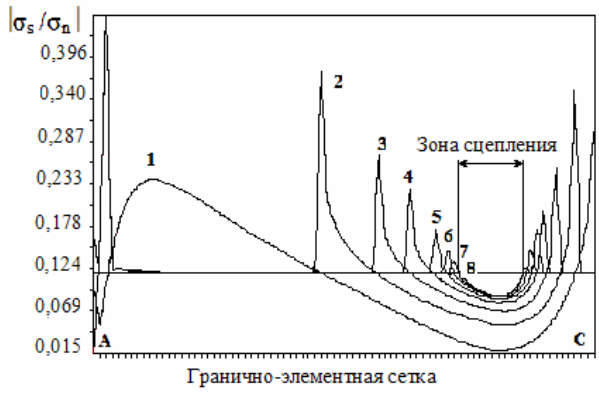


Рис. 2. Итерационное определение размеров зон жесткого сцепления в области контакта клина с ведомой обоймой

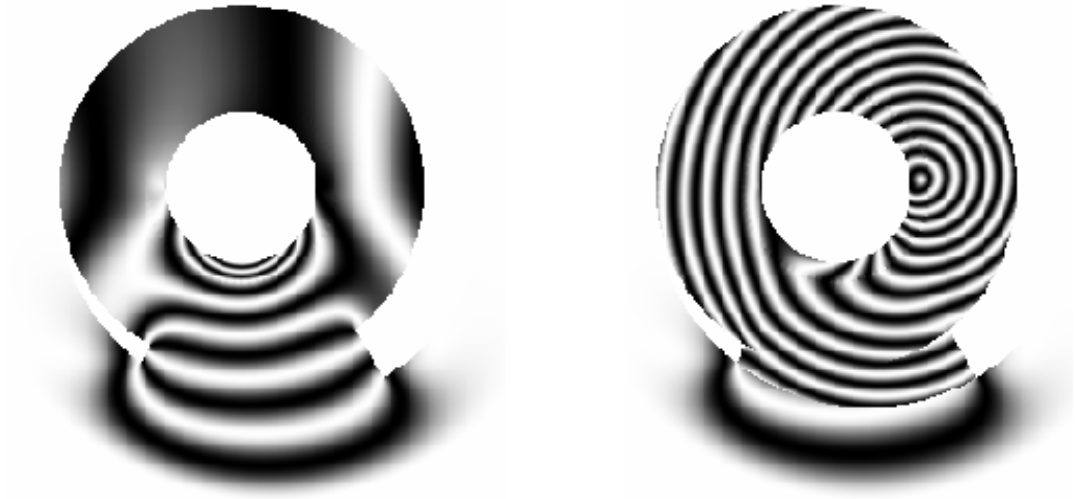
На рис. 3, 4 с помощью средств графической визуализации вычислительной системы показано трансформирование картин деформированного состояния МСХ, находящегося в условиях простого и сложного нагружения при изменении условий сцепления клина с обоймами. Изоповерхности суммарных перемещений $u_{sum} = (u_x^2 + u_y^2)^{1/2}$ соответствуют цене полосы 0,05 мм.

Кинематические состояния механизма в условиях простого нагружения крутящим моментом, приложенным к валу-эксцентрику, при жестком сцеплении клина с обоймами и при наличии сил трения в областях контакта иллюстрируют картины, представленные на рис. 3. При наличии жесткого сцепления элементы МСХ образуют материальный континуум, деформированное состояние которого соответствует деформированному состоянию заклиненного механизма. Распределение полос свидетельствует о выполнении условий совместной деформации обойм и клина.

При наличии сил трения в областях контакта клина с обоймами, определяемых в зависимости от величины заданного коэффициента трения, МСХ находится в другом кинематическом состоянии. Картина на рис. 3*б* иллюстрирует состояние относительного макроскольжения элементов МСХ при действии внешней нагрузки. Распределения полос в ведущей обойме и клине свидетельствуют об их кинематическом смещении как единого целого относительно ведомой обоймы.

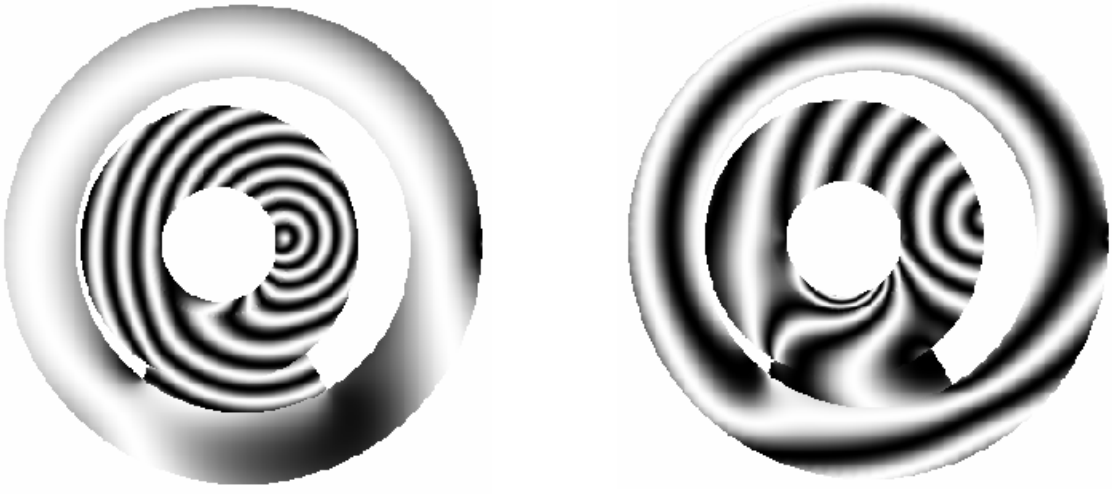
На рис. 4 показаны картины деформированного состояния МСХ, нагруженного крутящими моментами M_o и $M_{пн}$, при изменении величины коэффициента трения на контактных поверхностях клина. Картина на рис. 4*а* соответствует проскальзыванию механизма при действии внешней нагрузки. Увеличение коэффициента трения приводит к изменению кинематического состояния МСХ при его заклинивании (рис. 4*б*). Изоповерхности перемещений на обоймах и клине имеют деформационный характер. Они определяют положение зон жесткого сцепления и относительного проскальзывания тел. Отличительным признаком первых является полное совпадение порядков полос в областях контакта трех взаимодействующих элементов МСХ. Очевидно, что на границе клина с ведущей обоймой практически отсутствует микроскольжение тел. В заостренной части клина на границе с ведомой обоймой можно отметить наличие достаточно протяженной зоны микропроскальзывания, в которой имеет место несовпадение порядков полос. Это свидетельствует о том, что деформируемые тела имеют различные тангенциальные перемещения.

Таким образом, разработанная статическая гранично-элементная модель при наличии сформулированных критериев самозаклинивания и феноменологическом задании соотношения между нормальными и касательными усилиями позволяет исследовать процессы контактного взаимодействия элементов клиновых МСХ на двух уровнях: микро- и макроскольжения тел.



а *б*

Рис. 3. Случай простого нагружения МСХ (M_o=26800 Нмм, $M_{пн}$= 0).
Трансформация кинематического состояния МСХ при изменении условий сцепления:
а – жесткое сцепление; *б* – наличие сил трения (f = 0,1)



а *б*

Рис. 4. Случай сложного нагружения МСХ (M_o =26800 Нмм, $M_{пн}$ = 20000 Нмм).
Трансформация кинематического состояния МСХ при изменении величины коэффициента трения:
а – f = 0,1; *б* – f = 0,12

В этом случае устанавливается взаимосвязь между всеми основными конструктивными параметрами механизма, условиями нагружения и его кинематическим состоянием. Такой подход дает возможность моделировать процессы самозаклинивания МСХ и определять его наиболее важные триботехнические характеристики, исходя из решений статической контактной задачи. При наличии критериев прочности математическая модель может быть использована для анализа прочности и жесткости конструкции в ходе выполнения проверочного и проектного расчетов клиновых МСХ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Благонравов А. А.* Механические бесступенчатые передачи нефрикционного типа. – М.: Машиностроение. 1977. – 145 с.

2. *Джонсон К.* Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир. 1986. – 510 с.

3. *Мальцев В. Ф.* Роликовые механизмы свободного хода. – М.: Машиностроение. 1968. – 416 с.

4. *Демидов С. П.* Теория упругости. – М.: Высш. шк.1979. – 264 с.

5. *Гончаров А. А.* Статический анализ напряженно-деформированного состояния элементов клиновых механизмов свободного хода // Проблемы машиностроения и надежности машин. – РАН. 2005. – № 5. – С. 80–87.

6. *Крауч С., Старфилд А.* Методы граничных элементов в механике твердого тела. – М.: Мир. 1987. – 328 с.

УДК 519.857

А. С. Дроботов, Н. П. Садовникова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФРАКТАЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Волгоградский государственный технический университет (nps@volgodom.ru)

В статье рассматривается проблема выбора начальных условий для решения задач нелинейной оптимизации. Авторами предложено применение фракталов для определения начального приближения (а также нахождение экстремума) в задачах безусловной нелинейной оптимизации (функции от двух переменных).

Ключевые слова: нелинейная оптимизация, экстремум функции, фрактальное изображение функции.

A. S. Drobotov, N. P. Sadovnikova

RESEARCH OF POSSIBILITY OF APPLICATION OF FRACTALS FOR THE DECISION OF PROBLEMS OF NONLINEAR OPTIMIZATION

It is considered in this article the problem of choice starting conditions for the decision problems of nonlinear optimization. Authors suggest application of fractals for definition initial approximation (and also an extremum finding) in problems of unconditional nonlinear optimization (function from two variables).

Nonlinear optimization, extremum of function, fractal.

Разделы математики, современные вычислительные технологии и системы, связанные с решением задач оптимального выбора, необычайно обширны. Прежде всего, это связано с тем, что к задачам оптимизации сводятся более широкие проблемы принятия оптимальных

решений, а именно – проблемы рационального выбора, выбора в условиях конфликта, неопределенности.

Класс задач нелинейного программирования имеет дело с оптимизацией нелинейных функций при наличии (или отсутствии) линейных и (или) нелинейных ограничений. В настоящий момент область нелинейной оптимизации представлена большим числом различных численных стратегий поиска решений, из которых успешное применение нашли лишь немногие алгоритмы. Это связано с тем, что на успешность решения влияют многие факторы: начальные условия, точность решения, вид функции [5, с. 8–10]. Одной из самых сложных задач является определение начального приближения.

Целью данной работы стало исследование возможности выбора начальных условий (а также нахождение экстремума) в задачах нелинейной оптимизации с использованием фракталов.

Основная идея предлагаемого метода состоит в следующем. Для оптимизируемой функции строится фрактальное изображение. Каждая точка области вывода раскрашивается определенным цветом, в соответствии со значения градиента этой функции. Полученный спектр сопоставляется с эталонным набором (рис. 1). На основе анализа полученного изображения, определяется область экстремума.

Рис. 1. Диапазон цветов

Для реализации разработанного метода была создана программа "Фрактальный построитель", которая состоит из подсистемы построения фрактальных изображений, подсистемы вычисления экстремума функции методами нелинейного программирования и базы данных, содержащей информацию об уже исследуемых математических функциях. Подсистема построения фрактальных изображений выводит окно, в котором строится фрактальный образ введенной математической функции. Задавая соответствующие параметры, можно изменять масштаб и выбирать область вывода. Для определения области экстремума выводится таблица эталонного представления цветов.

В процессе исследования было рассмотрено более 30 функций от двух переменных (непрерывность и дифференцируемость в исследуемой области является обязательным условием) и получены их фрактальные изображения.

Следует отметить, что не для всех рассматриваемых функций местонахождение экстремума можно определить сразу. В связи с этим была проведена классификация функций и получены следующие четыре класса:

- функции, для которых нахождение экстремума и области выбора начальных условий очевиден – класс 1;
- функции, для которых область выбора начальных условий становится более очевидной при приближении изображения, однако нахождение экстремума неочевидно – класс 2;
- функции, для которых область выбора начальных условий и экстремума становятся очевидными при приближении изображения – класс 3;
- функции, для которых затруднителен выбор начальных условий а также экстремума функции – класс 4.

На рис. 2 приведен пример функции класса 1 – $f(x,y)=(1-x)^2+(2-y)^2$, экстремум которой находится в точке (1; 2). Из рисунка видно нахождение экстремума функции.

Функция класса 2 представлена на рис. 3. – $f(x,y)=(x^2+y-11)^2+(x+y^2-7)^2$ (функция Химмельблау), экстремумы которой находятся в точках (3.58443;–1.84813) и (3; 2). Для функций данного класса определение расположение экстремума не становится очевидным при уменьшении диапазона области вывода, но область начальных условий определяется более явно при приближении (рис. 3).

На рис. 4 представлена функция класса 3 – $f(x,y)=(x^2+y^2-3)^2+(x^2+y^2-2\cdot x-3)^2+1$, экстремум функции которой находится в точке $(0;\sqrt{3})$. Местоположение области экстремума (а также начальных условий) для данного класса функций становится очевиден только при уменьшении диапазона области вывода (рис. 4). На рисунке видно, что область нахождения экстремума расположена в окружности наибольшего радиуса.

На рис. 5 представлена функция класса 4 – $f(x,y)=\ln(1+x^2+y^2)+(x-y-1)^2$, экстремум которой находится в точке (0,411;–0,411). Для данных функций затруднителен выбор области расположения экстремума, и при уменьшении диапазона области вывода можно определить только "вероятностное" местоположение (рис. 5). Видно, что область нахождения экстремума расположена в окрестности начала координат). Для таких функций необходимо дополнительно исследовать математическую формулу.

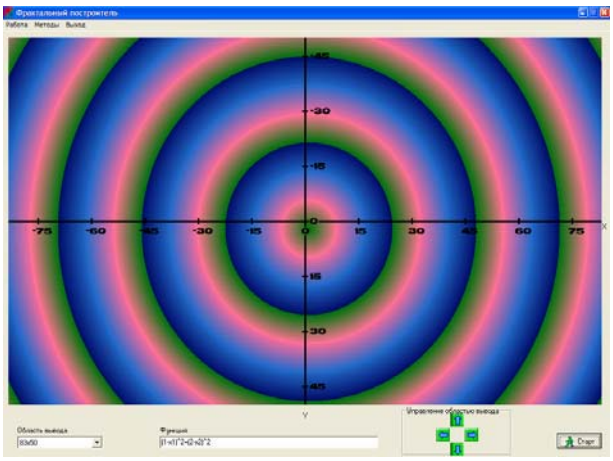


Рис. 2. Функция $f(x,y)=(1-x)^2+(2-y)^2$

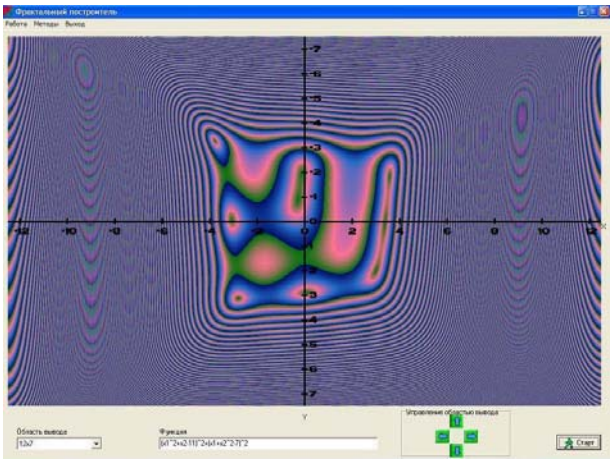


Рис. 3. Функция $f(x,y)=(x^2+y-11)^2+(x+y^2-7)^2$

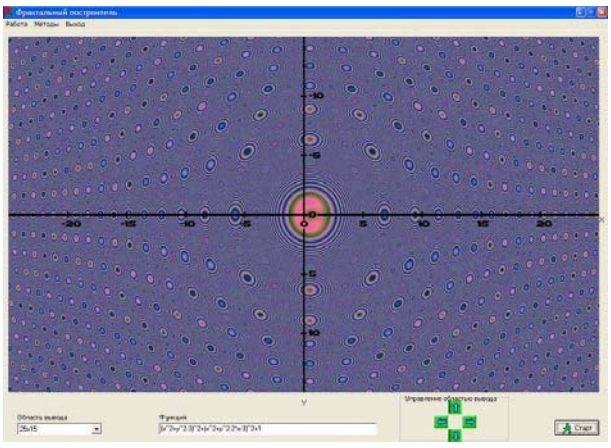


Рис. 4. Функция
$f(x,y)=(x^2+y^2-3)^2+(x^2+y^2-2\cdot x-3)^2+1$

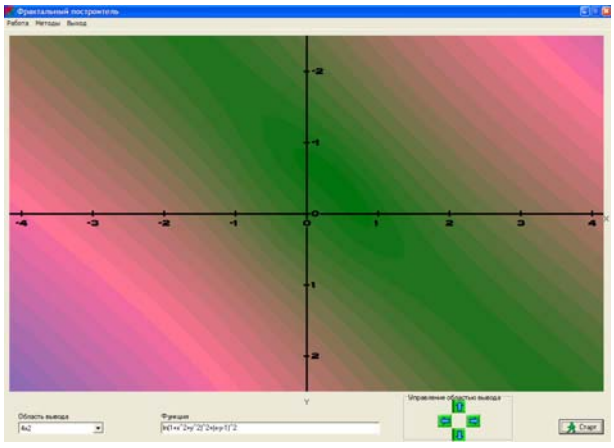


Рис. 5. Функция
$f(x,y)=\ln(1+x^2+y^2)+(x-y-1)^2$

Таким образом, в ходе проделанной работы проведен анализ эффективности применения фракталов для определения начального приближения в задачах безусловной нелинейной оптимизации. Разработана программа для построения фрактальных образов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дистанционный курс обучения по дисциплине "Методы оптимизации" [Электронный ресурс] // Официальный сервер Сумского Государственного университета. – Режим доступа: http://dl.sumdu.edu.ua/e-pub/mo/.

2. *Зенкин, А. А.* Когнитивная компьютерная графика / А. А. Зенкин; под ред. Д. А. Поспелова; главная редакция физико-математической литературы. – М.: Наука, 1991. – 192 с.

3. *Морозов, А. Д.* Введение в теорию фракталов / А. Д. Морозов. – Изд. 2-е, доп. – М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 160 с.

4. *Химмельблау, Д.* Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау; пер. с англ. И. М. Быховской, Б. Т. Вавилова; под ред. М. Л. Быховского. – М.: Изд-во Мир, 1975. – 535 с.

УДК 681.325.33

Ю. В. Кандырин, А. М. Кошелев

АВТОМАТИЗАЦИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СТРУКТУРИРОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВ НА ОСНОВЕ ИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО УПОРЯДОЧИВАНИЯ

Московский энергетический институт (ТУ) (ywk@mail.ru)

Рассмотрены методы оптимального выбора объектов по последовательно применяемым критериям на основе введения понятия метакритериев. Приведены алгоритмы установления приоритетов вариантов с использованием фактор множеств, представленных в ассоциативных структурах данных.

Ключевые слова: Многокритериальный выбор. Метакритерии. Последовательно применяемые критерии. Фактор множества окрестностей альтернатив. Операции над фактор множествами в ассоциативных моделях.

Y. V. Kandyrin, A. M. Koshelev

AUTOMATION OF MULTICRITERIA STRUCTURING OF ALTERNATIVES ON THE BASIS OF THEIR SEQUENTIAL RANKINGS

The methods of optimum choice of objects by sequentially used criteria on the basis of introduction of concept metacriteria are surveyed in this paper. The algorithms of set of priorities of variants with usage the factor of sets, formed in associative data structures, are represented.

Multicriteria choice. Metacriteria. Sequentially used criteria. The factor of set of neighbourhoods of alternatives. Operations above the factor by sets in associative models.

Многие задачи системного анализа нацелены на выявление приоритетов объектов по принятым правилам. К ним относятся задачи оптимального планирования ремонтов по совокупности показателей качества (ПК) среди однородных объектов, задачи создания критериально-структурированных баз данных для справочных систем в САПР и целый ряд других.

В [1] рассматривалось построение очередей с использованием безусловных неметрических критериев, для ситуаций, когда все ПК несравнимы между собой. В данной работе описана методика упорядочивания альтернатив для случая, когда лицом, принимающим решения (ЛПР), между ПК установлен частичный порядок в пространстве надсистемных метапоказателей.

Прежде всего, введем некоторые понятия и определения. *Под средней информированностью экспертов* при решении задач упорядочивания альтернатив, будем понимать тот факт, что эксперты не имеют возможности однозначно установить *линейный порядок* вариантов на множестве ПК сравниваемых вариантов. Однако, для рассматриваемых технических объектов $\Omega = \{\omega_i\}$, $i = \{1,N\}$ существует возможность выделить *набор* информативных показателей качества $\{k_l\}$, $l = \{1,M\}$, а также экспертно установить их *частичный порядок* $<k_1,\{k_2, k_3\}\ldots k_M>$ в обобщенных надсистемных метапоказателях качества $\{K_1, K_2\}$. Последние являются монотонными характеристиками, назначаемыми ЛПР, и используются для сравнения самих информативных показателей качества из набора $\{k_l\}$. Иначе говоря, надсистемные показатели качества K_1, K_2 являются показателями качества для сравнения информативных показателей качества объектов. С их помощью на первом этапе можно сравнивать не сами объекты $\{\omega_i\}$, которых всегда, как правило, значительно больше, чем показателей качества $\{k_l\}$, а их информативные показатели качества, устанавливая на множестве $\{k_l\}$ частичный порядок или задавая для них расслоение по Парето [1]. Это необходимо для формирования целевых критериев сравнения объектов на множестве $\{k_l\}$.

Сами метапоказатели могут быть разными в зависимости от целей решаемой задачи сравнения вариантов. Так, в контексте данной статьи, показатели качества $\{k_l\}$ объектов $\{\omega_i\}$ сравниваются в метапоказателях: – $K_1(k_l)$ – *относительной степени важности* на множестве $\{k_l\}$, и – $K_2(k_l)$ – *относительной стоимости* достижения значения данного показателя качества k_l для объектов на $\{\omega_i\}$. Для наглядности решения задачи введем одинаковые, отрицательные ингредиенты у обоих надсистемных ПК, т. е. вместо K_1 будем рассматривать величину, ему обратную, например $1/K_1 = K_1^*$. В этом случае идеальным конечным результатом становится начало координат, что удобнее для проведения сравнений.

Предлагаемая авторами методика установления частичного порядка объектов на $\Omega = \{\omega_i\}$ предполагает введение поэтапной процедуры упорядочивания, которая реализуется пошагово: вначале через частичное или послойное упорядочивание технических показателей качества $\{k_l\}$ в метапоказателях $\{K_1^*, K_2\}$, затем че-

рез формирование последовательно применяемых критериев на множестве ПК, и наконец, упорядочивание самих альтернатив по сформированным критериям, используя полученную информацию о π-расслоении показателей качества $\{k_l\}$. Рассмотрим предлагаемый подход подробнее.

- ***На первом этапе,*** в соответствии с целями упорядочивания объектов, ЛПР назначает набор информативных технических показателей качества $\{k_1, k_2,.., k_l, \ldots k_M\}$, по которым будет осуществляться сравнение вариантов из множества объектов Ω.
- ***На втором этапе*** устанавливаются приоритеты этих частных показателей в выбранных ЛПР обобщенных метапоказателях $\{\boldsymbol{K}_1^*, \boldsymbol{K}_2\}$, что графически интерпретируется на рис. 1. Эта операция может быть выполнена экспертами, как в линейных порядках предпочтений, так и в метрических шкалах. Если экспертов несколько, то желательно впоследствии оценить согласованность мнений экспертов по дополнительной методике, учитывающей ранговую корреляцию. В проводимой процедуре информативные показатели качества $\{k_l\}$ уже рассматриваются *как варианты* в пространстве $\{\boldsymbol{K}_1^*, \boldsymbol{K}_2\}$.
- ***Третий этап*** – это формирование последовательности критериальных постановок на Ω, исходя из распределения ПК объектов $\{k_l\}$, полученного на втором этапе в пространстве $\{\boldsymbol{K_1}^*, \boldsymbol{K_2}\}$. Как видно из представленного (рис. 1) распределения ПК $\{k_l\}$, в заданном ЛПР метапространстве E^2: $\{\boldsymbol{K_1}^*, \boldsymbol{K_2}\}$ для критерия Парето $\pi(\{k_l\}, l=\{1,5\} / \{\boldsymbol{K_1}^*\downarrow, \boldsymbol{K_2}\downarrow\})$ можно выделить на основе π-расслоения следующие последовательные πL – критериальные постановки:

$\pi_1(\Omega/\{k_2, k_3\})$; $L_1(\Omega/<k_1>)$; $\pi_2(\Omega/\{k_4, k_5\})$.

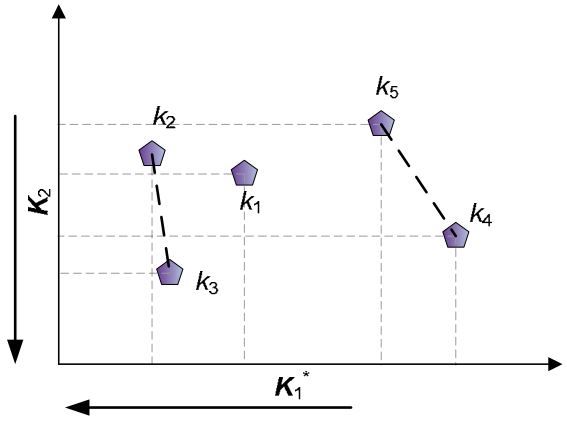


Рис. 1. Распределение приоритетов ПК $\{k_l\}$ в выбранных метапоказателях $\{K_1^*, K_2\}$

Последовательность применения πL-критериев соответствует приоритетам в условно поставленных ЛПР целях, выраженных через метапоказатели $\{\boldsymbol{K_1}^*, \boldsymbol{K_2}\}$, что графически интерпретируется структурной схемой (рис. 2).

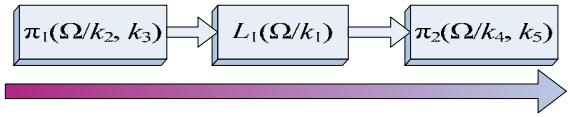


Рис. 2. Последовательность применения πL-критериальных постановок: $\pi_1(\Omega/\{k_2, k_3\})$; $L_1(\Omega/<k_1>)$; $\pi_2(\Omega/\{k_4, k_5\})$

По распределению показателей качества $\{k_l\}$ в пространстве $\{\boldsymbol{K_1}^*, \boldsymbol{K_2}\}$ (рис. 1), первым в $\pi(\{k_l\}/\{\boldsymbol{K_1}^*, \boldsymbol{K_2}\})$ – расслоении показателей качества (для минимизации метапоказателей) является π-критерий $\pi_1(\Omega/\{k_2, k_3\})$. Полученный порядок несравнимых вариантов $\{\omega_i\}$ в π-расслоении $\pi_1(\Omega/\{k_2, k_3\})$ раскрывается далее с помощью L-критерия $L_1(\Omega/k_1)$. И затем, оставшиеся несравнимые варианты проверяются на доминирование с помощью третьего критерия $\pi_2(\Omega/\{k_4, k_5\})$. Таким образом, с помощью трех последовательно применяемых критериев $<\pi_1(\Omega/\{k_2, k_3\})$; $L_1(\Omega/ k_1)$; $\pi_2(\Omega/\{k_4, k_5\})>$ может быть определен искомый порядок собственно объектов на Ω (рис. 2).

Особенность предлагаемого подхода состоит в том, что каждый следующий критерий из линейного списка $\pi_1(\Omega/\{k_2, k_3\}) \succ L_1(\Omega/k_1) \succ \pi_2(\Omega/\{k_4, k_5\})$ снимает неразличимость вариантов на Ω, уточняя приоритеты альтернатив, в ранее полученных решениях. Однако, при этом не изменяется базовый порядок приоритетов объектов, сформированный по ранее примененным критериям в пространстве $\{\boldsymbol{K_1}^*, \boldsymbol{K_2}\}$, начиная с первой критериальной постановки: $\pi_1(\Omega/\{k_2, k_3\})$.

Алгоритмически процедуру ранжирования вариантов предлагается осуществить с использованием ассоциативной модели данных. В такой модели исходное множество вариантов Ω предварительно представляется в виде линейных структур фактор-множеств, что позволяет существенно упростить получение фактор-множеств более высоких порядков с использованием операций булевой алгебры.

Как показано в [1] и [2], квазиреляционная модель (ассоциативная матрица (A_l)) фактор-множества линейного порядка вариантов ω_i по частному показателю качества k_l: $L(\Omega/k_l)$ имеет вид, представленный в табл. 1.

Таблица 1

Ассоциативная матрица фактор-множества Φ^T_Ω/k_l линейного порядка $L(\Omega/k_l)$

Альтернативы ω_i \ Окрестности $O_i(\omega_i)$ \ Альтернативы	$O_1(\omega_i)$	$O_2(\omega_i)$	…	$O_N(\omega_i)$
$\boldsymbol{\omega_1}$	0	B_{12}	…	B_{1N}
$\boldsymbol{\omega_2}$	B_{21}	0	…	B_{2N}
…	…	…	…	…
$\boldsymbol{\omega_N}$	B_{N1}		…	0

Здесь каждый столбец задает окрестность $O_i(\omega_i)$ i-го варианта. Окрестность варианта ω_i включает в себя множество *всех доминирующих или эквивалентных* данному ω_i варианту альтернатив, а совокупность всех окрестностей представляет собой транзитивное фактор-множество Φ^T_Ω/k_l. Вхождение варианта в соответствующую окрестность идентифицируется "1" в данной ячейке, отсутствие – "0". Так, если вариант входит в окрестность i-й альтернативы, то $B_{i,j} = 1$, и $B_{i,j} = 0$, если – не входит.

Рассмотрим пример для рис. 1, где π – расслоение будет представлено в виде 3-х слоев, задающих следующий квазилинейный порядок $<\{k_2, k_3\}, k_1, \{k_4, k_5\}>$. Пусть значения ПК $\{k_l\}$ (рис. 1) в метапоказателях $\{\boldsymbol{K_1}^*, \boldsymbol{K_2}\}$ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения ПК $\{k_l\}$ в метапространстве E^2

Показатели качества вариантов $\{k_l\}$	Координаты $\{k_l\}$ в метапространстве E^2	
	K_1^*	K_2
k_1	0,45	0,8
k_2	0,2	0,9
k_3	0,25	0,4
k_4	1	0,35
k_5	0,8	1

Из табл. 2 и рис. 1 видно, что показатели k_2, k_3 несравнимы, и относятся к первому π_1-слою. Они могут быть использованы для формирования первого по важности критерия – критерия Парето на Ω: $\pi_1(\Omega/\{k_2, k_3\})$, используемого на первом шаге для сравнения собственно объектов $\{\omega_i\}$. Второй критерий, а это в нашем случае всего один показатель качества – k_1, раскрывает несравнимость вариантов в полученном на первом шаге квазилинейном порядке на Ω. И, наконец, с помощью третьего критерия: $\pi_3(\Omega/\{k_4, k_5\})$ завершается упорядочивание альтернатив $\{\omega_i\}$.

Перейдем к процедуре формирования собственно частичного порядка альтернатив $\{\omega_i\}$ по последовательно применяемым πL критериям $L[\Omega/<\pi_1(\Omega/\{k_2, k_3\}), L_1(\Omega/k_1), \pi_2(\Omega/\{k_4, k_5\})>]$. Вначале, формируем ассоциативные матрицы каждого из ПК – $\{A_l\}$, $l = \{1,5\}$. Затем организуем процедуру последовательного применения критериев $\pi_1(\Omega/\{k_2, k_3\})$, $L_1(\Omega/k_1)$, $\pi_2(\Omega/\{k_4, k_5\})$ с помощью пересечения фактор-множеств по π,L правилам. В [1], [2] показано, что для π -правила следует провести пересечение сформированных ассоциативных матриц $\{A_l\}$ фактор-множеств по $\{k_l\}$

$$\Phi^T_\Omega/\{k_2, k_3\} = \Phi^T_\Omega/\{k_2\} \cap \Phi^T_\Omega/\{k_3\}$$
$$\text{и } \Phi^T_\Omega/\{k_4, k_5\} = \Phi^T_\Omega/\{k_4\} \cap \Phi^T_\Omega/\{k_5\}. \quad (1)$$

Процесс получения результата иллюстрирует рис. 3.

Символы $\cap_\pi$ и $\cap_L$ на рис. 3 означают соответствующие π и L-правила, по которым пересекаются ассоциативные матрицы. Подробно π-правило рассматривается в [2] и реализуется по формуле (1), или в ассоциативных матрицах – по формуле (2). Элементы матрицы A_{23} получены путем пересечения по $A_{23} = A_2 \cap_\pi A_3$.

$$A_{23} = \{a_{ij}^{23}\},\ a_{ij}^{23} = a_{ij}^2 \cap_\pi a_{ij}^3,\ A_2 = \{a_{ij}^2\},$$
$$A_3 = \{a_{ij}^3\},\ i,j = \{1, N\}. \quad (2)$$

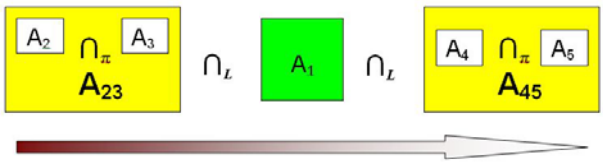


Рис. 3. Формирование квазилинейного порядка альтернатив $L[\Omega/<\pi_1(\Omega/\{k_2, k_3\}), L_1(\Omega/k_1), \pi_2(\Omega/\{k_4, k_5\})>]$

L-правило позволяет раскрыть неразличимость вариантов по условному L-критерию. Если неразличимых вариантов в линейном порядке нет, дальнейший процесс последовательного применения критериев должен быть остановлен. Если неразличимые варианты есть, то L-правило предполагает сравнение окрестностей неразличимых вариантов в результирующей матрице, полученной по последнему критерию по формуле (2). Приведем формулы для L ($A^L = A_{23} \cap_L A_1$)-правила.

$$A^L = \{a_{ij}\},$$
$$a_{ij} = \begin{cases} a_{ij}^{23}, \text{если } a_{ij}^{23} \neq 1, a_{ji}^{23} \neq 1 \\ a_{ij}^{23} \cap a_{ij}^1, \text{если } a_{ij}^{23} = a_{ji}^{23} = 1 \end{cases} \quad (3)$$
$$A_{23} = \{a_{ij}^{23}\},\ A_1 = \{a_{ij}^1\},\ i,j = \{1, N\}.$$

На рис. 4 приведен алгоритм последовательного упорядочивания альтернатив.

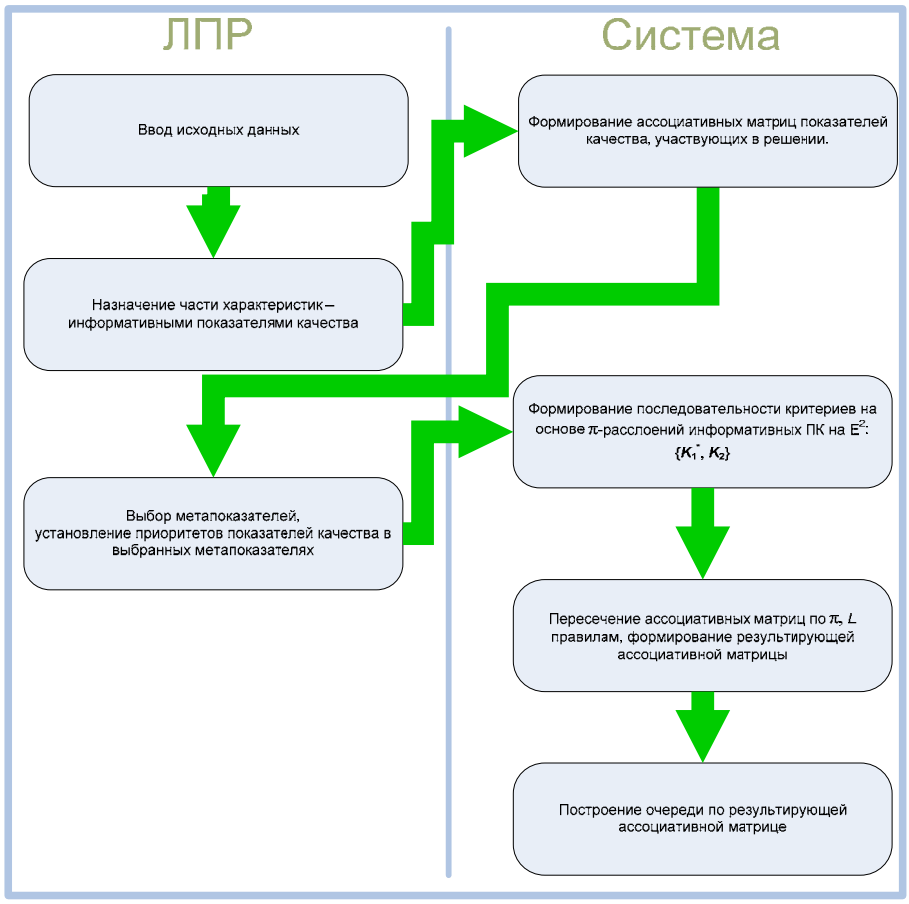


Рис. 4. Алгоритм упорядочивания по последовательно применяемым критериям

П р и м е р.

Пусть исходное множество Ω задано шестью альтернативами, для каждой из которых определены три показателя качества k_1, k_2 и k_3. Описание исходного множества представлено по ТЗ реляционной моделью (табл. 3) и пусть требуется получить упорядочение альтернатив при следующих ингредиентах ПК ($k_1\uparrow, k_2\uparrow, k_3\uparrow$).

Решение задачи начнем с построения линейных порядков по k_1, k_2 и k_3 на основании данных из табл. 3.

$L(\Omega/k_1) = < \omega_5, \omega_6, \omega_3, \omega_1, \omega_2, \omega_4 >$,

$L(\Omega/k_2) = < \omega_6, \omega_5, \omega_1, \omega_3, \omega_2, \omega_4 >$,

$L(\Omega/k_3) = < \omega_3, \{\omega_2, \omega_6\}, \omega_1, \omega_4, \omega_5 >$,

В обобщенных показателях "1/Важность" и "Стоимость", показатели k_1, k_2, k_3 имеют координаты (назначенные ЛПР приоритеты), которые показаны на рис. 5.

Построим ассоциативные матрицы факторможеств по каждому линейному порядку. Формула определения элементов этих матриц определяется в [1]. В таблицах 4÷6 представлены ассоциативные матрицы A_1, A_2, A_3 для факторможеств Φ^T_Ω/k_1, Φ^T_Ω/k_2, Φ^T_Ω/k_3, соответственно.

Таблица 3

Реляционная модель исходных данных

ПК Альтернативы	$k_1\uparrow$	$k_2\uparrow$	$k_3\downarrow$
ω_1	20	30	30
ω_2	10	15	11
ω_3	30	20	7
ω_4	5	10	34
ω_5	40	35	40
ω_6	35	40	11

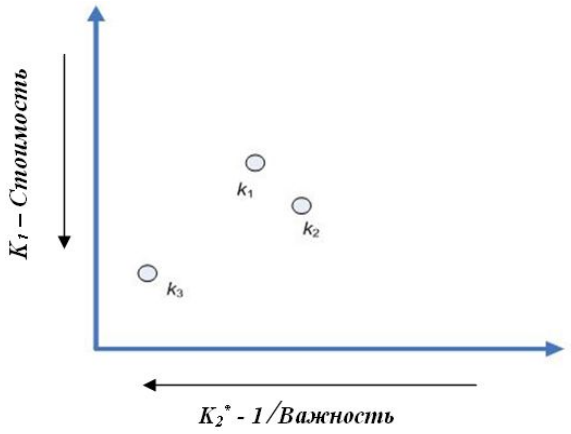


Рис. 5. Заданное ЛПР распределение ПК вариантов в метапоказателях

Таблица 4

Ассоциативная матрица A_1 для фактор-множества Φ^T_Ω/k_1

Альтернативы \ Окрестности	$O_1(\omega_1)$	$O_2(\omega_2)$	$O_3(\omega_3)$	$O_4(\omega_4)$	$O_5(\omega_5)$	$O_6(\omega_6)$
ω_1	0	1	0	1	0	0
ω_2	0	0	0	1	0	0
ω_3	1	1	0	1	0	0
ω_4	0	0	0	0	0	0
ω_5	1	1	1	1	0	1
ω_6	1	1	1	1	0	0

Таблица 5

Ассоциативная матрица A_2 для фактор-множества Φ^T_Ω/k_2

Альтернативы \ Окрестности	$O_1(\omega_1)$	$O_2(\omega_2)$	$O_3(\omega_3)$	$O_4(\omega_4)$	$O_5(\omega_5)$	$O_6(\omega_6)$
ω_1	0	1	1	1	0	0
ω_2	0	0	0	1	0	0
ω_3	0	1	0	1	0	0
ω_4	0	0	0	0	0	0
ω_5	1	1	1	1	0	0
ω_6	1	1	1	1	1	0

Таблица 6

Ассоциативная матрица A_3 для фактор-множества Φ^T_Ω/k_3

Альтернативы \ Окрестности	$O_1(\omega_1)$	$O_2(\omega_2)$	$O_3(\omega_3)$	$O_4(\omega_4)$	$O_5(\omega_5)$	$O_6(\omega_6)$
ω_1	0	0	0	1	1	0
ω_2	1	0	0	1	1	1
ω_3	1	1	0	1	1	1
ω_4	0	0	0	0	1	0
ω_5	0	0	0	0	0	0
ω_6	1	1	0	1	1	0

Из заданного ЛПР (рис. 3) распределения ПК в пространстве метакритериев $\boldsymbol{K}_1$ – "Стоимость" и $\boldsymbol{K}_2{}^*$ – "1/Важность" видно, что решение следует начинать с k_3, как с показателя качества, обладающего минимальной стоимостью реализации и максимальной важностью или иначе: (min "1/Важность"). Ассоциативная матрица фактор-множества Φ^T_Ω/k_3 показана в табл. 6. Затем, в рассмотрение вступают показатели качества k_1 и k_2. Они несравнимы и позволяют сформировать критерий Парето $\pi_2(\Omega/\{k_1, k_2\})$, который будет следующим при формировании порядка альтернатив на множестве Ω, уточняющим порядок установленный по k_3.

Результирующее фактор-множество $\Phi^T_\Omega/\{k_1,k_2\}$, описываемое матрицей A_{12} (табл. 7), получаем пересечением $\cap_\pi$ соответствующих элементов окрестностей матриц A_1 и A_2 в соответствии с выражением (2) по π-правилу.

Далее, формируем итоговое множество, устанавливающее порядок на Ω путем пересечения по L-правилу фактор-множеств $\Phi^T_\Omega/k_3 \cap_L \Phi^T_\Omega/\{k_1,k_2\}$. Для этого в ассоциативной форме поэлементно пересекаются матрицы A_3 и A_{12}, соответственно. Для выполнения данного пересечения, выявляем в матрице A_3 элементы, имеющие значение "1" и стоящие симметрично, относительно главной диагонали (табл. 8).

Такими элементами являются $a_{26}{}^3$ и $a_{62}{}^3$. Элементы результирующей матрицы $a_{26}{}^{123}$, $a_{62}{}^{123}$, согласно выражению (3), будут определяться как пересечение элементов $a_{26}{}^3$, $a_{26}{}^{12}$ и $a_{62}{}^3$, $a_{62}{}^{12}$ соответственно.

$a_{26}{}^{123} = a_{26}{}^3 \cap a_{26}{}^{12} = 1 \cap 0 = 0;$

$a_{62}{}^{123} = a_{62}{}^3 \cap a_{62}{}^{12} = 1 \cap 1 = 1.$

Таблица 7

Ассоциативная матрица A_{12} для фактор-множества $\Phi^T_\Omega/\{k_1,k_2\}$,

Альтернативы \ Окрестности	$O_1(\omega_1)$	$O_2(\omega_2)$	$O_3(\omega_3)$	$O_4(\omega_4)$	$O_5(\omega_5)$	$O_6(\omega_6)$
ω_1	0	1	0	1	0	0
ω_2	0	0	0	1	0	0
ω_3	0	1	0	1	0	0
ω_4	0	0	0	0	0	0
ω_5	1	1	1	1	0	0
ω_6	1	1	1	1	0	0

Таблица 8

Выделение несравнимых элементов в АМ фактор-множества Φ^T_Ω/k_3

Альтернативы \ Окрестности	$O_1(\omega_1)$	$O_2(\omega_2)$	$O_3(\omega_3)$	$O_4(\omega_4)$	$O_5(\omega_5)$	$O_6(\omega_6)$
ω_1	0	0	0	1	1	0
ω_2	1	0	0	1	1	1
ω_3	1	1	0	1	1	1
ω_4	0	0	0	0	1	0
ω_5	0	0	0	0	0	0
ω_6	1	1	0	1	1	0

Остальные элементы, не являются неразличимы по k_3 и, согласно выражению (3), копируются из матрицы A_3 в результирующую матрицу A_{123}.

Таким образом, неопределенность $\{\omega_2, \omega_6\}$ раскрыта. Дальнейший анализ матрицы на построение порядка ничем не отличается от представленного в [2].

Таблица 9

Результирующая ассоциативная матрица A_{123}

Альтернативы \ Окрестности	$O_1(\omega_1)$	$O_2(\omega_2)$	$O_3(\omega_3)$	$O_4(\omega_4)$	$O_5(\omega_5)$	$O_6(\omega_6)$
ω_1	0	0	0	1	1	0
ω_2	1	0	0	1	1	0
ω_3	1	1	0	1	1	1
ω_4	0	0	0	0	1	0
ω_5	0	0	0	0	0	0
ω_6	1	1	0	1	1	0

Выводы

В статье рассмотрены алгоритмы и методы многоуровневого упорядочивания однородных вариантов, с привлечением дополнительной информации от ЛПР. Для разрешения неопределенностей между показателями качества в метапоказателях применяются π и *L*-правила, подробно рассмотренные в [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кандырин Ю. В.* Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР. Учебное пособие для вузов. М.: Издательство МЭИ, 2004. – 172 с.

2. *Кандырин Ю. В., Кошелев А. М.* Алгоритмы установления приоритетов объектов по техническим показателям в целях назначения оптимальной очередности их ремонтов. М: Издательство Машиностроение, журнал "Вестник информационных и компьютерных технологий", № 7, 2006.

3. *Кандырин Ю. В.* Принципы построения информационных систем для автоматизированного многокритериального выбора. – М.: Журнал “Радиотехника”, 1999. – № 5. – С. 32–37.

УДК 656.13.084.001.57

Ю. Я. Комаров, В. М. Волчков, В.Н. Федотов, А. В. Лемешкин

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА НАЕЗДА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА НЕПОДВИЖНОЕ ПРЕПЯТСТВИЕ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ДТП

Волгоградский государственный технический университет (fat@vstu.ru)

В статье рассматриваются модель процесса наезда транспортного средства на неподвижное препятствие, которая позволяет при экспертизе ДТП оценивать скорость движения автомобиля по характеру деформации элементов конструкции.

Ключевые слова: экспертиза ДТП, математическое моделирование, моделирование столкновений.

Y. Ya. Komarov, V. M. Volchkov, V. N. Fedotov, A. V. Lemeshkin

CREATION OF MODEL OF PROCESS OF ARRIVAL OF A VEHICLE ON A MOTIONLESS OBSTACLE FOR AN EXPERT ESTIMATION OF ROAD ACCIDENT

In article model of process of arrival of a vehicle on a motionless obstacle which allows to estimate speed of movement of the car in road accident examination on character of deformation of elements of a design are considered.

Road accident examination, mathematical modelling, modelling of collisions.

Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) связаны со значительными жертвами и материальными потерями. Эта проблема особенно значима для России, где жертвами ДТП ежегодно становятся более 30 000 тысяч россиян. Установление причин предшествующих ДТП, является одной из важных задач в обеспечение безопасности на дорогах. Поэтому является актуальным создание модели процесса наезда транспортного средства на неподвижное препятствие, которая позволяет при экспертизе ДТП оценивать скорость движения автомобиля по характеру деформации элементов конструкции, при этом использовать ограниченные информационные ресурсы, с минимальными затратами времени.

Все мировые автопроизводители исследуют поведение элементов автомобилей при ДТП, проводя, как реальные краш-тесты, так и математическое моделирование столкновений. В последнее время применение математического моделирования столкновений многократно возросло, ввиду относительно низкой стоимости и оперативности полученных результатов, для внесения изменений в конструкцию. Для математического моделирования разработаны специальные программы, которые позволяют осуществлять моделирование различных процессов. Достоверность полученных результатов виртуальных исследований достаточно высока [1].

Анализ материалов ГИБДД по состоянию аварийности в г. Волгограде показал, что наиболее распространенный вид ДТП – это фронтальное столкновение автомобилей, на его долю в 2006 году пришлось до 60 % случаев [2].

Наиболее опасными среди автомобилей, с участием которых были зарегистрированы ДТП по показателям: смертности, числу пострадавших, общему количеству ДТП проявили себя переднеприводные автомобили семейства ВАЗ 2108-099. [3]

В этой связи для создания модели процесса наезда был выбран автомобиль ВАЗ 21099.

Проведенные исследования показали, что наиболее важную роль в обеспечении пассивной безопасности автомобиля при фронтальном ударе играют лонжероны, поэтому первоначально при создании математической модели деформации автомобиля была изучена зависимость деформации переднего лонжерона автомобиля ВАЗ 21099 при статическом нагружении, рис 1.

Результаты моделирования деформации лонжерона были сопоставлены с результатами стендовых испытаний. Расхождение данных стендовых испытаний и результатов моделирования не превышали 14 %, рис 2. Моделирование деформации проводилось на базе конечно-элементных расчетов, с использованием программы ABAQUS, представленной компанией ТЕСИС.

Следующим этапом создания модели наезда на неподвижное препятствие для экспертной системы оценки причин ДТП было разработка упрощенной модели автомобиля ВАЗ 21099.

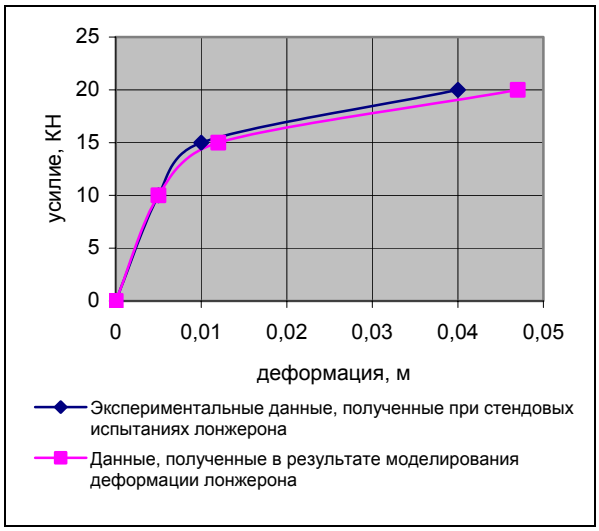
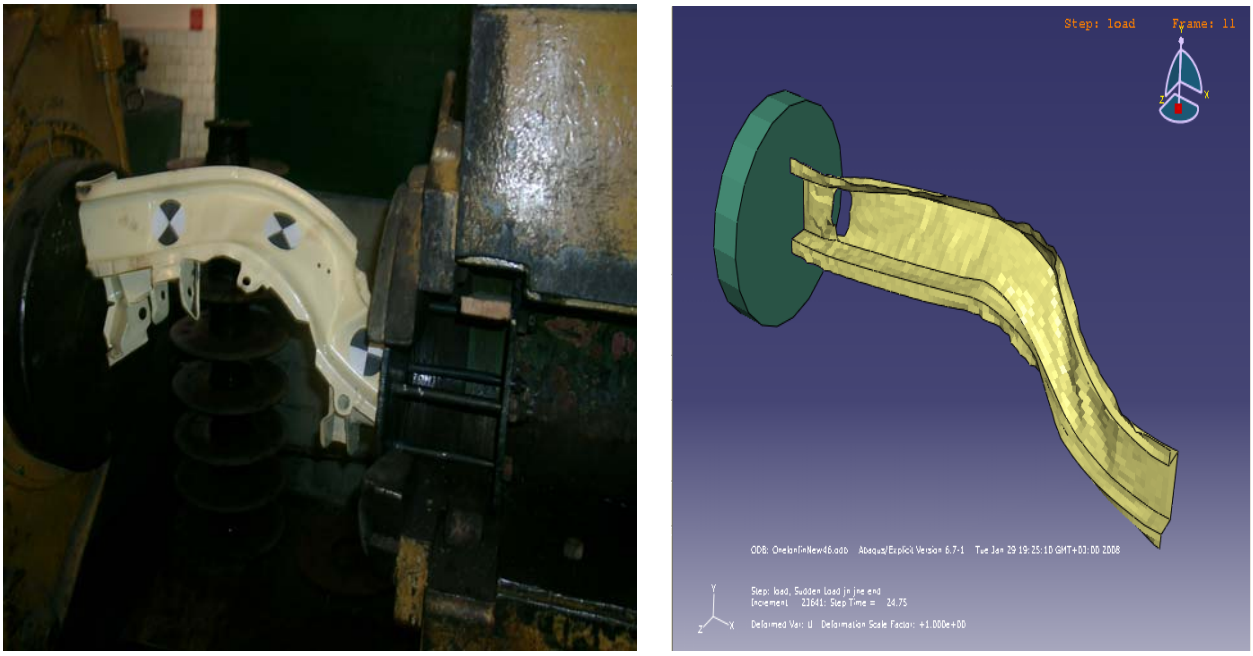


Рис.1. Зависимость деформации лонжерона от прикладываемого усилия

В городских условиях большая часть фронтальных столкновений автомобилей происходит на скоростях до 60 км/ч. Известно, что на скоростях столкновения до 60 км/ч деформация автомобиля происходит, в основном, за счет силовой структуры передней части автомобиля, вплоть до стоек кузова, поэтому основной упор делался на моделирование передней части кузова: правого и левого лонжеронов, брызговиков, перемычки между лонжеронами, капота, передней облицовки; остальной кузов прорисовывался, как одна целая деталь.



а *б*

Рис.2. Сравнение результатов стендового нагружения лонжерона с результатами математической модели:
а – стендовое нагружение лонжерона; *б* – математическая модель нагружения

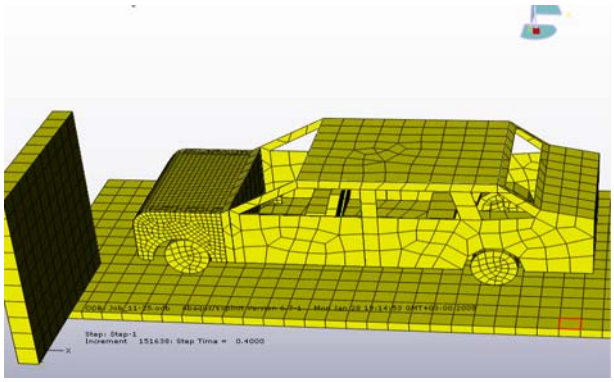


Рис. 3. Конечно-элементная модель автомобиля ВАЗ 21099

Для соединения элементов кузова в модели были применены жесткие связи, 3–5 связей на элемент. Длительность времени удара была принята – 0,1 с.

В итоге разработанная конечно-элементная модель автомобиля ВАЗ 21099 составила 3731 конечных элементов, 24 детали, 34 связи.

Моделирование столкновений конечно-элементной модели автомобиля ВАЗ 21099 с препятствиями (жесткая стенка), на различных скоростях и перекрытиях, показало, что характер повреждений модели совпадает с повреждениями автомобилей, полученных в реальных ДТП и лабораторных испытаниях. Сопоставление модели наезда для экспертной оценки ДТП проводилась по результатам деформациям силовых элементов кузова-лонжеронам. (см. рис 1).

Проведенными исследованиями сделана основа экспертной системы для экспресс оценки скорости столкновения автомобиля по повреждениям, полученным в ДТП.

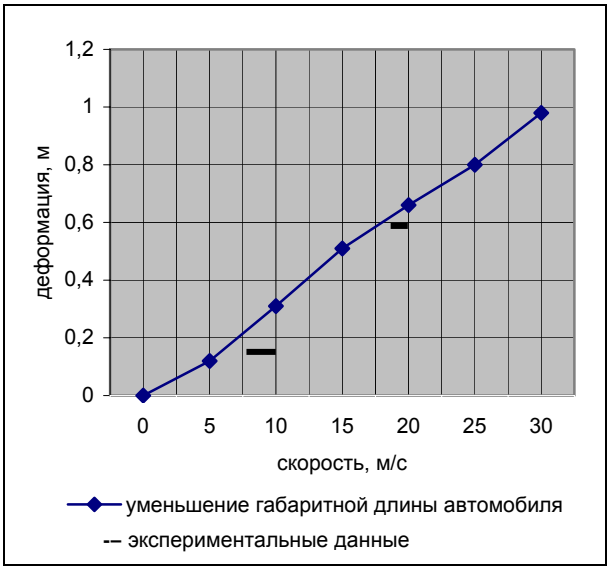


Рис. 4. Зависимость уменьшение габаритной длины автомобиля от скорости столкновения

Для дальнейшего повышения точности экспертной оценки ДТП с применением математической модели необходимо развитие банка данных по моделям автомобилей, участвовавших в ДТП, и видам ДТП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Michael Dieteberger, Murat Buyuk Developent of High Strain-Rate Dependent VeHicle Model, FHWA/NHTSA National Crash Center. The George Washington University, Virginia, USA.

2. Аналитический обзор состояния аварийности и результатов работы подразделений ГИБДД УВД по г. Волгограду за 2006 год. – Волгоград, 100 с.

3. *Комаров Ю. Я.* Анализ аварийности в г. Волгограде / Ю. Я. Комаров А. В. Лемешкин // Проблемы эксплуатации автотранспортных средств – 2004: материалы III международной научно-технической конференции 19–21 мая 2004. – С. 354–357.

УДК 681.52

Д. И. Крыжановский

МЕТОД НЕЛИНЕЙНОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТОХАСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ

Волгоградский государственный технический университет (dikryzhanovsky@yandex.ru)

В настоящей статье рассмотрены вопросы параметрической идентификации сугубо нелинейных моделей с использованием стохастических алгоритмов оптимизации, позволяющих избежать трудностей, связанных с применением традиционных методов и алгоритмов детерминистской оптимизации.

Ключевые слова: модель идентификации, параметрическая идентификация, нелинейная идентификация, стохастическая оптимизация, алгоритм имитации отжига.

D. I. Kryzhanovsky

NONLINEAR PARAMETRICAL IDENTIFICATION METHOD USING STOCHASTIC OPTIMIZATION ALGORITHMS

The present paper is devoted to the problems of strictly nonlinear identification with use of stochastic optimization algorithms which allow to avoid the difficulties that occur if one uses traditional or deterministic optimization methods.

Identification model, parametrical identification, nonlinear identification, stochastic optimization, simulated annealing algorithm.

В настоящей работе рассматриваются вопросы, связанные с параметрической идентификацией моделей, нелинейных по параметрам, трудности, которые возникают при их постро-

нии традиционными методами, а также предлагаемый автором метод идентификации, основанный на стохастических алгоритмах глобальной оптимизации.

Традиционным подходом построения моделей идентификации является метод наименьших квадратов (МНК) и его приложение для линейных по параметрам моделей в виде процедуры регрессионного анализа [2]. Теоретически аналогичный подход можно применить и для построения моделей нелинейных по параметрам – определить выражения для соответствующих частных производных, приравнять их к нулю и решить систему нормальных уравнений

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\left(\sum\left(y-F(\vec{a},\vec{x})\right)^2\right)}{\partial a_0}=0 \\ \dfrac{\partial\left(\sum\left(y-F(\vec{a},\vec{x})\right)^2\right)}{\partial a_1}=0 \\ \ldots \\ \dfrac{\partial\left(\sum\left(y-F(\vec{a},\vec{x})\right)^2\right)}{\partial a_{k-1}}=0 \end{cases}, \qquad (1)$$

где $F(\vec{a},\vec{x})$ – функция модели, y – экспериментальные значения выходной переменной. Однако в общем случае эта система будет нелинейной и аналитический метод ее решения отсутствует. Использование же численных методов решения нелинейных систем сопряжено с рядом трудностей:

1) успешность решения зависит от качества начального приближения;

2) в отличие от одномерного случая не всегда возможно локализовать корень;

3) согласно теореме о неявной функции [5] нельзя быть уверенным, что система имеет строго одно решение.

Кроме того, многие методы решения нелинейных систем основаны на дифференцировании левых частей уравнений. Так, чтобы решить систему нормальных уравнений (1) методом Ньютона-Рафсона, необходимо каждое *i*-е уравнение продифференцировать по каждому из *j*-х параметров модели, то есть вычислить

$$J_{ij}=\sum\frac{F(\vec{a},\vec{x})}{\partial a_i}\cdot\sum\frac{F(\vec{a},\vec{x})}{\partial a_j}+$$

$$+\left(\sum F(\vec{a},\vec{x})-\sum y\right)\sum\frac{\partial F^2(\vec{a},\vec{x})}{\partial a_i\partial a_j}. \qquad (2)$$

Но в общем случае мы не можем быть уверены, что выражение $U=\sum\left(y-F(\vec{a},\vec{x})\right)^2$ окажется дважды дифференцируемым по всем параметрам.

Альтернативный подход можно предложить исходя из того факта, что задача идентификации есть задача оптимизации. С помощью методов оптимизации, не требующих вычисления производных и не накладывающих серьезных ограничений на вид оптимизируемой функции, можно определять значения параметров моделей. Такой подход имеет еще одно преимущество: ненужно составлять систему нормальных уравнений, отпадает необходимость для каждой отдельно взятой функции $F(\vec{a},\vec{x})$ выводить выражения для частных производных. Одна и та же алгоритмическая процедура без предварительных вычислений, выполняемых человеком, может использоваться для широкого класса моделей.

В литературе встречаются упоминания о параметрической идентификации с использованием методов Нелдера-Мида и RRR [3]. Эти методы хорошо себя зарекомендовали при решении различных задач, где традиционный МНК не давал приемлемых результатов, однако они обладают рядом недостатков. Так, алгоритм Нелдера-Мида является методом локальной оптимизации: решение, найденное им, может располагаться достаточно далеко от глобального оптимума минимизируемой функции. Также, алгоритм Нелдера-Мида эффективно работает при размерности пространства поиска не больше 6. Наконец, метод RRR, представляющий собой метод глобальной оптимизации на дискретной сетке, сильно ограничен в точности при большом числе входных переменных. С ростом размерности поискового пространства объем необходимых вычислений растет по экспоненте. С учетом сказанного автор работы предлагает альтернативный метод вычисления параметров нелинейных зависимостей, общая схема которого представлена на рис. 1.

В качестве метода глобальной оптимизации был выбран алгоритм квантового туннелирования (*quantum annealing*). Компьютерные эксперименты показали, что для большинства моделей достаточно взять значение Q (число перезапусков) равным 1. Исключение составляют модели, функции которых обладают большим числом экстремумов или периодическим характером. Для них рекомендуется брать значения Q порядка 50 – 200. Глобальный поиск начинается из точки **a_init** (ее можно определить, например, построив предварительно внутрилинейную модель, близкую по структуре к требуемой функции F). Итерационный процесс продолжается, пока температура или радиус окрестности генерации новой точки не достигнут значения *precision* (точность вычислений).

Рис. 1. Обобщенная схема метода нелинейной параметрической идентификации

Радиус на каждой итерации уменьшается в соответствии с коэффициентом *rCoefficient* и на *n*-ой итерации равен

$$r_n = rCoefficient \cdot r_{n-1}, \quad r_n = rCoefficient^n \cdot R0, \tag{3}$$

где $R0$ – начальный радиус окрестности. В литературе [1] приводится рекомендация брать *rCoefficient* > 0,8. Эксперименты показали, что для задачи идентификации лучше всего подходят значения между 0,99 и 0,9999. При значениях меньших 0,95 радиус окрестности уменьшается слишком быстро – температура не успевает понизиться и траектория алгоритма носит случайный характер, не будучи направленной в область глобального оптимума. При значениях больших 0,9999 вычисления начинают занимать много времени без улучшения качества решения. Значение $R0$ рекомендуется брать $10^3 – 10^4$.

Что касается температуры, эксперименты показали – для задачи идентификации эффективным является ее изменение по закону

$$T_n = \frac{\tau}{n+1} + t, \tag{4}$$

где

$$t = \frac{precision \cdot iter + precision - T\max}{iter}, \tag{5}$$

$$\tau = T\max - t.$$

iter есть номер итерации, в районе которой (приблизительно) температура и радиус достигнут значения *precision*

$$iter = \left\lceil \log_{rCoefficient}\left(\frac{precision}{R0}\right)\right\rceil. \tag{6}$$

$T\max$ – это начальная температура. Чтобы обеспечить высокую вероятность перехода к новой точке на начальных итерациях,

$$T\max = \left|\frac{U\max}{\ln(1-precision)}\right|, \tag{7}$$

где $U\max$ – оценка максимального значения оптимизируемой функции. Предлагается следующий способ оценки: в окрестности радиусом $R0$ начального решения **a_init** генерируется несколько точек (например, 20) и по ним определяется максимальное значение оптимизируемой функции. Также для улучшения работы алгоритма была реализована эвристика "встряхивания". Если на протяжении нескольких итераций текущее решение оказывается хуже, чем наилучшее, значит, движение в этом направлении было ошибочным. Так, предлагается делать "встряхивание", если на протяжении 100 итераций текущее значение U в 2 и более раз больше, чем наилучшее.

Для локального поиска использовались два метода – Нелдера-Мида и *hill climbing*. Первый применялся, если размерность пространства поиска не превышала 6. При запуске локального поиска симплекс строился на точке текущего решения, длина ребра симплекса бралась равной 1. Алгоритм *hill climbing* использовался в модифицированном варианте. Во-первых, поиск начинался не с точностью *precision*, а с более крупным шагом дискретизации. Определив оптимальную точку с текущим шагом, мы уменьшаем его в 10 раз и начинаем поиск с более высокой точностью уже из текущей точки, которая находится ближе к оптимуму, чем стартовая. Эксперименты показали, что такая модификация позволяет примерно в 100 раз уменьшить время работы алгоритма. Во-вторых, в базовом варианте алгоритма число соседних точек, значения функции в которых вычисляются для выбора направления движения, равно $W(m) = 3^m - 1$, где m – размерность пространст-

ва. При размерностях больше 10 было предложено брать не все соседние точки, а те, координаты которых отличаются от текущей только одной компонентой. Получается своего рода перекрестие с центром в текущей точке. В этом случае число проверяемых точек равно $Z(m) = 2m$, а качество решения не страдает.

Разработанный алгоритм прошел испытания на ЭВМ. Было проверено 30 внутрилинейных и сугубо нелинейных моделей различной структуры. Параметрическая идентификация проводилась тремя способами: традиционным (регрессионный анализ или численное решение нелинейной системы), с использованием только локальных методов оптимизации и с использованием авторского алгоритма нелинейной идентификации. Эксперименты показали, что авторский алгоритм выдает решения с точностью, достаточной для практического использования (того же порядка, что и традиционные методы). В ряде сугубо нелинейных случаев традиционные методы выдали некорректные результаты (возникали исключения из-за недопустимых математических операций), в то время как авторский алгоритм сумел построить и эти модели. Наконец, для некоторых моделей локальные методы без использования глобальных выдавали неверные решения. Авторский алгоритм выдавал решения с необходимой точностью близкие к эталонным. Недостатком авторского алгоритма можно считать большое время вычислений при построении тригонометрических зависимостей, что представляет собой направление для дальнейшего исследования и улучшения алгоритма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алгоритм имитации отжига [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://math.nsc.ru/AP/benchmarks/UFLP/uflp_sa.html.

2. *Львовский Е. Н.* Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие для втузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.: ил.

3. Построение математических моделей методом идентификации. Методические указания к лабораторным работам/ Сост. Фоменков С. А., Давыдов Д. А. – Волгоград: ВолгГТУ, 2002.

4. Global Optimization [Электронный ресурс]. – [2008]. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Global_optimization.

5. Numerical Recipes in C. The Art of Scientific Computing. − Second Edition, Cambridge University Press [Электронный ресурс]. − [2003]. – Режим доступа: http://library.cornell.edu.

6. Quantum Annealing [Электронный ресурс]. – [2008]. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_annealing.

7. Simulated Annealing [Электронный ресурс]. – [2008]. – http://en.wikipedia.org/wiki/Simulated_annealing.

УДК 519.1

А. М. Магомедов

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПИСАНИЯ

Дагестанский государственный университет, Махачкала (magomedtagir1@yandex.ru)

Рассмотрены вопросы раскрашиваемости графов специального типа. Полученные результаты применены к задаче оптимизации расписания.

Ключевые слова: оптимизация расписания, графы.

A. M. Magomedov

THE TASK OF OPTIMIZATION OF THE SCHEDULE

The questions on colorability are considered for graphs of special types. The received results are applied to a task of optimization of the schedule.

Optimization of the schedule, graphs.

1. Формулировка задачи оптимизации расписания

Пусть $N = \{1,...,n\}$ – множество классов, $L = \{1,...,l\}$ – множество учителей, $\{1,...,m\}$ – множество часов, отведенных для расписания, заданного матрицей $M\ l \times m$, $M_{i,j} \in N \cup \{0\}$. Равенство $M_{i,j} = k, k \in N$, соответствует уроку *i*-го учителя в классе k в *j*-й час времени; если в *j*-й час *i*-й учитель не преподает, то $M_{i,j} = 0$. Предполагается, что матрица M удовлетворяет условиям: 1) каждая строка содержит $q = const$ попарно различных ненулевых элементов (и *m–q* нулевых элементов); 2) каждый столбец содержит множество N (и *l–n* нулевых элементов).

Если из $(M_{i,j_1} \neq 0), (M_{i,j_2} \neq 0), (j_1 < j_2)$ следует $M_{i,j} \neq 0, j_1 \leq j \leq j_2$, то размещение ненулевых элементов в *i*-й строке матрицы M назовем *непрерывным*. Матрицу M' с непрерывным

размещением ненулевых элементов в каждой строке назовем *оптимальным представлением* расписания *M*, если множество ненулевых элементов в каждой *линии* (строке и столбце) матрицы M' – такое же, что и в соответствующей линии матрицы *M*. Легко доказать, что для существования M' необходимо выполнение условия $m = 0(\mathrm{mod}\ q)$. В данной статье показано принципиальное различие случаев $q = 2$ и $q = 3$ при исследовании существования оптимального представления для расписания $M\ l \times 2q$. Для некоторых классов расписаний условия существования оптимального представления были рассмотрены в [1].

2. Условия существования оптимального представления расписания

Класс двудольных графов $G = (X, Y, E)$, в которых степени вершин $x \in X$ равны 2*q*, а степени вершин $y \in Y$ не превышают *q* (равны *q*), обозначим C_q (C_q^0). Раскраску ребер графа $G = (X, Y, E) \in C_q$ в два цвета: –1 или +1 будем называть *разбивающей раскраской*, если среди ребер, инцидентных каждой вершине $x \in X$, количество ребер каждого цвета не превышает *q*, а для каждой вершины $y \in Y$ все инцидентные *y* ребра имеют одинаковый цвет[1]. В случае (не) существования разбивающей раскраски граф $G \in C_q$ будем называть (*не*) *раскрашиваемым*. Будем говорить, что *цвет i представлен k раз в вершине* v, если цвет *i* присвоен в точности *k* ребрам, инцидентным вершине v.

Т е о р е м а 1. *Любой граф* $G \in C_2$ *является раскрашиваемым*.

Д о к а з а т е л ь с т в о. Число висячих вершин в графе $G = (X, Y, E) \in C_2$ четно. Пусть $y_1', y_1'', \ldots, y_k', y_k''$ – множество таких вершин. Для каждого $i, 1 \le i \le k$, обозначим ребра, инцидентные соответственно вершинам y_i' и y_i'', через $e_i' = (v_i', y_i')$ и $e_i'' = (v_i'', y_i'')$; введем новую вершину y_i и новые ребра $(v_i', y_i), (v_i'', y_i)$, затем заменим 4-элементную конструкцию e_i', y_i', y_i'', e_i'' на "новую" 3-элементную конструкцию: $(v_i', y_i), y_i, (y_i, v_i'')$. Новый граф обозначим $G' = (X, Y', E')$. В каждой компоненте G^* графа $G' = (X, Y', E')$ выберем произвольно вершину $y^* \in Y'$ и ребро $(y^*, x) \in E'$. Поскольку $G^* \in C_2^0$, то граф G^* является эйлеровым. Построим в G^* эйлеров цикл и выберем такое направление его обхода, при котором проход ребра (y^*, x) совершается от вершины y^* к вершине *x*. Цвет $c(y^*, x)$ дуги (y^*, x) положим равным –1 и присвоим цвета последовательным дугам цикла $\ldots, (v_i, v_j), (v_j, v_k), \ldots$ по правилу:

$$c(v_j, v_k) = \begin{cases} c(v_i, v_j), v_j \in Y', \\ -c(v_i, v_j), v_j \in X. \end{cases}$$

В результате каждый из двух цветов представлен в любой вершине $x \in X$ два раза, а цвета дуг, инцидентных произвольной вершине $y \in Y', y \ne y^*$, равны между собой. Если пронумеровать дуги цикла в порядке их обхода: 0, 1, 2, 3, 4, …, то цвета дуг с номерами, кратными 4, равны –1. Поскольку количество дуг графа G^* кратно 4 и процесс присвоения цветов завершается в дуге, инцидентной вершине y^*, то цвета дуг, инцидентных вершине y^*, также равны.

Следовательно, полученная 2-раскраска является разбивающей для графа G'. Выполним обратную замену каждой новой конструкции $(v_i', y_i), y_i, (y_i, v_i'')$ на прежнюю – e_i', y_i', y_i'', e_i'', присваивая ребрам e_i' и e_i'' цвет $c(v_i', y_i) = c(y_i, v_i'')$; в результате получим разбивающую раскраску для исходного графа *G*. Теорема доказана.

С л е д с т в и е 1. *Пусть* $W = \{w_1, \ldots, w_l\}$ *– набор 2-слов над* алфавитом *N. Если каждый элемент из N входит в слова набора W в точности четыре раза, то W допускает разбиение на такие поднаборы* W_{-1} *и* W_{+1}*, что каждый элемент N входит в поднабор* W_k *в точности два раза;* $k = -1, +1$.

Д о к а з а т е л ь с т в о. Двудольный граф $G = (X, Y, E)$, в котором 1) $X = \{x_i \mid i \in N\}$, 2) $Y = \{y_j \mid, j \in L\}$, 3) вершины x_i и y_j соединены $p_{i,j}$ параллельными ребрами (где $p_{i,j}$ – количество вхождений $i \in N$ в слово $w_j \in W$), принадлежит классу C_2^0. Выберем разбивающую раскраску графа *G* (теорема 1) и положим $W_k = \{w_j \mid c(y_j) = k\}; k = -1, +1$. Следствие доказано.

[1] Этот *цвет вершины y* обозначим *c*(*y*), для цвета ребра (*x, y*) введем обозначение *c*(*x, y*).

Т е о р е м а 2. *Оптимальное представление расписания* $M\,l\times 4$*, каждая строка которого содержит точно два ненулевых элемента, всегда существует.*

Д о к а з а т е л ь с т в о. Набор $W=\{w_1,...,w_l\}$, где w_i – слово, образованное из (двух) ненулевых элементов *i*-й строки матрицы $M, i\in L$, допускает (следствие 1) разбиение на поднаборы W_{-1} и W_{+1}, в любой из которых каждый элемент множества *N* входит точно два раза. Легко видеть, что буквы внутри каждого слова из W_{-1} можно так упорядочить, а совокупность слов из W_{-1} разбить на такие непродолжимые последовательности, что первая буква каждого слова последовательности (за исключением первого) равна второй букве предыдущего слова: $(a,b)-(b,c)-\ldots-(x,y)-(y,z)$[2]; в качестве первого слова очередной последовательности выбирается произвольное слово, не включенное ранее в другие последовательности.

Выполним перебор слов каждой последовательности, размещая каждое (упорядоченное) слово в отдельной строке матрицы $M'\,l\times 4$ (вначале все элементы *M′* равны нулю) так, что первая буква слова размещается в первой позиции, а вторая – во второй позиции строки. При этом каждая буква *a* из *N* размещается точно один раз в первом столбце и точно один раз – во втором столбце матрицы *M′*.

Размещение слов из W_{+1} в третьем и четвертом столбцах матрицы *M′* выполним аналогичным образом. Переставляя в случае надобности строки матрицы *M′*, можно считать, что каждая строка матрицы *M′*содержит тот же набор элементов, что и соответствующая строка матрицы *M*. Теорема доказана.

Покажем, что утверждение теоремы 2 об оптимальном представлении расписания $M\,l\times 2q$, $q=2$ не распространяется на случай $q=3$.

Разбивающей раскраской (0,1)-матрицы назовем присвоение каждому (единичному) элементу матрицы одного из цветов: –1, +1 так, что цвета всех элементов внутри одной строки равны (цвет элементов *i*-й строки обозначим t_i), а в каждом столбце элементов цвета – 1 столько же, сколько и элементов цвета +1.

Л е м м а 1. *При любой разбивающей раскраске матрицы R, изображенной на рис. 1,* $t_7=-t_8, t_9=-t_{10}$.

[2] Допускается равенство *a* = *z*.

	1	2	3	4
1	1	1	1	
2	1	1	1	
3	1	1	1	
4	1	1	1	
5	1	1		1
6	1	1		1
7			1	1
8			1	1
9				1
10				1

Рис. 1. $t_7 = –t_8$, $t_9 = –t_{10}$ при любой разбивающей раскраске матрицы *R*

Д о к а з а т е л ь с т в о. Пусть для матрицы *R* произвольно выбрана разбивающая раскраска; покажем сначала, что $t_5 = –t_6$. Допустим противное: $t_5 = t_6$. Поскольку три элемента множества $\{R_{1,1}, R_{2,1}, R_{3,1}, R_{4,1}, R_{5,1}, R_{6,1}\}$ имеют цвет t_5, а три – цвет $–t_5$, то из равенства $t_5 = t_6$ следует, что в множестве $\{R_{1,1}, R_{2,1}, R_{3,1}, R_{4,1}\}$ цвета трех элементов равны $–t_5$, цвет одного элемента равен t_5. Тогда утверждение справедливо и для множества $\{R_{1,3}, R_{2,3}, R_{3,3}, R_{4,3}\}$. Так как третий столбец матрицы содержит по три элемента цвета t_5 и цвета $–t_5$, то $R_{7,3}$ и $R_{8,3}$ имеют цвет t_5. Таким образом, цвета элементов в строках с номерами 5, 6, 7 и 8 равны t_5. Но это противоречит определению разбивающей раскраски, поскольку в этих строках содержатся четыре из шести ненулевых элементов четвертого столбца. Следовательно, $t_5 = –t_6$.

Отсюда и из расположения элементов в первом столбце вытекает, что два элемента множества $\{R_{1,1}, R_{2,1}, R_{3,1}, R_{4,1}\}$ имеют цвет t_5, а два элемента – цвет $–t_5$. Так как утверждение распространяется автоматически и на элементы множества $\{R_{1,3}, R_{2,3}, R_{3,3}, R_{4,3}\}$, то элементы $R_{7,3}$ и $R_{8,3}$ имеют разные цвета: $t_7 = –t_8$. Из $t_5 = –t_6$, $t_7 = –t_8$ и расположения элементов в четвертом столбце следует, что элементы $R_{9,4}$ и $R_{10,4}$ множества $\{R_{5,4}, R_{6,4}, R_{7,4}, R_{8,4}, R_{9,4}, R_{10,4}\}$ имеют разные цвета: $t_9 = –t_{10}$. Лемма доказана.

Л е м м а 2. *При любой разбивающей раскраске матрицы S, изображенной на рис. 2, справедливо хотя бы одно из равенств:* $t_1 = t_2$ *и* $t_3 = t_4$.

	1	2	3	4
1	1	1		
2		1		1
3	1			1
4		1	1	
5	1		1	
6			1	1
7	1		1	
8		1		1

Рис. 2. $t_1 = t_2$ или $t_3 = t_4$ при любой разбивающей раскраске матрицы S

Доказательство. Пусть произвольно выбрана разбивающая раскраска матрицы S. Рассмотрим два случая.

1 случай: $t_3 = t_1$. Коль скоро среди элементов $S_{1,1}, S_{3,1}, S_{5,1}, S_{7,1}$ в точности два элемента имеют цвет $-t_1$, а цвета элементов $S_{1,1}$ и $S_{3,1}$ равны t_1, то цвета элементов $S_{5,1}$ и $S_{7,1}$ равны $-t_1$; следовательно, $-t_1$ равны и цвета элементов $S_{5,3}$ и $S_{7,3}$, расположенных в одной строке с $S_{5,1}$ и $S_{7,1}$ соответственно. Так как среди $S_{4,3}, S_{5,3}, S_{6,3}, S_{7,3}$ точно два элемента имеют цвет $-t_1$, то цвет элемента $S_{4,3}$ равен t_1. Таким образом, $t_3 = t_4$ в случае $t_3 = t_1$.

2 случай: $t_3 = -t_1$. Если $t_2 = -t_1$, то элементы $S_{2,4}, S_{3,4}$ имеют цвет $-t_1$; тогда элементы $S_{6,4}, S_{8,4}$ – цвет t_1; цвет элемента $S_{8,2}$, равный цвету элемента $S_{8,4}$, также равен t_1. Так как среди элементов $S_{1,2}, S_{2,2}, S_{4,2}, S_{8,2}$ имеются два элемента цвета t_1 и два элемента цвета $-t_1$, при этом элемент $S_{2,2}$ имеет цвет $-t_1$ ($t_2 = -t_1$), а элементы $S_{1,2}$ и $S_{8,2}$ – цвет t_1, то цвет элемента $S_{4,2}$ равен $-t_1$, что для рассматриваемого случая эквивалентно равенству $t_3 = t_4$. Таким образом, если t_1 и t_2 различны, то $t_3 = t_4$. Лемма доказана.

Положим $q = 3, n = 20, l = 2n$ и определим следующий набор W из l q-буквенных слов над алфавитом N (число перед словом указывает количество вхождений слова в W): W = = { 4(1,2,3), 2(1,2,4), 2(3,4,17), 1(4,17,18), 1(4,18,20), 4(5,6,7), 2(5,6,8), 2(7,8,18), 1(8,17,20), 1(8,18,19), 4(9,10,11), 2(9,10,12), 2(11,12,19), 1(12,17,19), 1(12,19,20), 4(13,14,15), 2(13,14,16), 2(15,16,20), 1(16,17,19), 1(16,18,20) }. Легко проверить, что буквы в каждом слове различны, а сумма вхождений любой буквы алфавита в слова набора W равна $2q = 6$.

Если i-е слово равно (a,b,c), то i-й учитель должен провести по одному занятию в (различных) классах a,b,c. Существование расписания M, соответствующего набору W, следует из [2], п. 15.6.3. Если M допускает оптимальное представление M', то, как легко видеть, n строк M' содержат все "свои" q букв в позициях 1–3, а остальные n строк – в позициях 4–6. Таким образом, для доказательства отсутствия оптимального представления расписания M достаточно установить, что набор W не допускает разбиения на таких два поднабора, что сумма вхождений каждой буквы алфавита в слова каждого из поднаборов равна q. Или, что то же, для (0,1) – матрицы $P\,l \times n$, в котором $P_{i,j}$ равно количеству вхождений буквы j в i-е слово набора W, отсутствует разбивающая раскраска. Матрица $P\,40 \times 20$ имеет следующую структуру:

– каждая ее подматрица μ_k, $1 \le k \le 4$, размеров 10×4 с верхним-левым углом в ячейке $M_{10k-9,4k-3}$ совпадает с матрицей R рис. 1, все остальные элементы первых 16 столбцов матрицы P равны нулю;

– все элементы подматрицы r, образованной последними 4 столбцами матрицы P и не представленные единицами на рис. 3, равны нулю.

17	18	19	20	
…				…
1				7
1				8
1	**1**			9
	1		**1**	**10**
…				…
	1			17
	1			18
1			**1**	**19**
	1	**1**		20
…				…
		1		27
		1		28
1		**1**		29
		1	**1**	**30**
…				…
			1	37
			1	38
1		**1**		39
	1		**1**	**40**

Рис. 3. Сверху и справа – номера строк части матрицы P

Заметим, что каждый столбец $16+k$, $1 \le k \le 4$, подматрицы r содержит один ненулевой элемент в строке $10(k-1)+7$, один ненулевой элемент – в строке $10(k-1)+8$ (назовем эти элементы *неосновными*), остальные четыре ненулевых элемента (назовем их *основными*) – в строках $10k$–1 и $10k$; набор строк подматрицы r, покрывающих все основные элементы, образуют матрицу S рис. 2. Если для матрицы P разбивающая раскраска существует, то она является разбивающей раскраской и для матрицы μ_k; по лемме 1,

$$t_{10(k-1)+7} = -t_{10(k-1)+8}, \quad (1)$$

$$t_{10(k-1)+9} = -t_{10(k-1)+10}, \ 1 \le k \le 4. \quad (2)$$

Поскольку цвета неосновных элементов, согласно (1), различны, и столбец $16+k$, $1 \le k \le 4$, содержит по три элемента каждого из двух цветов: –1, +1, то столбец $16+k$, $1 \le k \le 4$, содержит два основных элемента каждого цвета. Таким образом, рассматриваемая раскраска является разбивающей раскраской для подматрицы S', образованной элементами на пересечении строк $10k-1, 10k$ и столбцов $16+k$, $1 \le k \le 4$. Как отмечалось выше, подматрица S' идентична матрице S рис. 2. При $k=1$ из (2) получим, что цвета первой и второй строк S' (строк 9 и 10 в нумерации строк P) различны, а при $k=2$ – что различны также цвета третьей и четвертой строк S' (строк 19 и 20 в нумерации строк P). Полученное противоречие с утверждением леммы 2 доказывает, что оптимальное представление расписания M, соответствующего набору W, не существует.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Магомедов А. М.* Дефрагментация матрицы перестановок в некоторых частных случаях // Материалы международного семинара "Дискретная математика и приложения", посвященного памяти акад. О. Б. Лупанова. – Изд-во МГУ, 2007, с. 200.

2. *Свами М., Тхуласираман К.* Графы, сети и алгоритмы. – М.: Мир, 1984.

УДК 519.254

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

МЕТОДИКА ОТБРАКОВКИ ИЗМЕРЕНИЙ С АНОМАЛЬНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЙ ОШИБКИ

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

Предлагается при наличии высокоточных измерений отказаться от грубых измерений для уточнения результатов. Для определения аномального измерения предлагается определить вероятность попадания грубого измерения в интервал высокоточных измерений.

Ключевые слова: аномальное измерение, точность, траекторная информация, устойчивость итерационного алгоритма, среднеквадратическая ошибка, вероятность, пороговый уровень.

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

THE METHOD OF REJECTION THE MEASUREMENTS WITH ANOMALOUS VALUES OF MEAN-SQUARE ERRORS

It is offered to refuse rough measurements for elaboration results in the presence high-precision measurements. For definition the anomalous measurement it is offered to define probability of hit the rough measurement in an interval of high-precision measurements.

The anomalous measurement, accuracy, the trajectory information, iterative algorithm's stability, mean-square errors, probability threshold level.

Многолетний опыт обработки траекторной измерительной информации показал, что при совместной обработке измерений методом наименьших квадратов (МНК) измерительной информации от различных измерительных средств разного качества (с большим отклонением друг от друга значениями среднеквадратической ошибки (СКО)) или с выбросами, приводит к значительному ухудшению точности определения координат или к получению недостоверных результатов из-за появления вычислительной неустойчивости итерационного алгоритма оценки траекторных параметров МНК. Данные ситуации возникают из-за того, что функция невязок, которая минимизируется в алгоритме совместной обработки методом последовательного приближения, приобретает несколько минимумов и при неточном выборе точки начального приближения решение "скатывается" в локальный минимум.

Выявление и отбраковка выбросов и измерений с аномальными значениями СКО позволит уменьшить вероятность появления локальных минимумов у функции невязок. В ядро методики отбраковки измерений с аномальными СКО положено заключение здравого смысла о том, что, имея высокоточные измерения, нет основания для использования грубых измерений для уточнения результатов. К данному выводу подводит метрологический критерий ничтожных погрешностей [1].

На значение ошибок измерений радиолокационной станции (РЛС) влияет достаточно большое число независимых (или слабо зависимых) случайных величин. Их влияние на результаты измерений можно представить как суммы весьма большого числа сравнительно малых слагаемых – элементарных ошибок, каждая из которых вызвана действием отдельной причины, не зависящей от остальных. Каким бы законам распределения ни были подчинены отдельные элементарные ошибки, особенности этих распределений в сумме большого числа слагаемых нивелируются, и сумма оказывается подчиненной закону, близкому к нормальному [2].

Таким образом, ошибки измерений РЛС (D – дальность, A – азимут, E – угол места) можно считать случайными величинами, распределенными по закону близкому к нормальному со следующими параметрами:

M_D, M_A, M_E – математические ожидания измерений;

σ_D, σ_A, σ_E, – среднеквадратические отклонения.

Прямоугольные координаты объекта (X, Y, Z), полученные по криволинейным, также будут случайными величинами, распределенными по закону близкому к нормальному со следующими параметрами:

X, Y, Z – математические ожидания прямоугольных координат ОИ;

σX, σY, σZ, – среднеквадратические отклонения.

Нормальный закон распределения характеризуется плотностью вероятности вида:

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

Максимальная ордината кривой определяется выражением:

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}. \qquad (2)$$

Параметр σ характеризует не положение, а саму форму кривой распределения. Это есть характеристика рассеивания. Наибольшая ордината кривой распределения обратно пропорциональна σ; при увеличении σ максимальная ордината уменьшается. Так как площадь кривой распределения всегда должна оставаться равной единице, то при увеличении σ кривая распределения становится более плоской, растягиваясь вдоль оси абсцисс; напротив, при уменьшении σ кривая распределения вытягивается вверх, одновременно сжимаясь с боков, и становится более иглообразной. Изменение параметра σ равносильно изменению масштаба кривой распределения – увеличению масштаба по одной оси и такому же уменьшению по другой [3].

Размерность параметра σ совпадает с размерностью случайной величины X.

Для случайной величины X, подчиненной нормальному закону, вероятность попадания на участок от A до B определяется формулой:

$$P(A<X<B)=\int_A^B f(x)dx=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\int_A^B \mathrm{e}^{\frac{-(x-m)^2}{2\sigma^2}}dx. \qquad (3)$$

Пользуясь заменой переменной:

$$\frac{x-m}{\sigma}=t, \qquad (4)$$

получим:

$$P(A<X<B)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{\frac{A-m}{\sigma}}^{\frac{B-m}{\sigma}}\mathrm{e}^{-\frac{t^2}{2}}dt. \qquad (5)$$

Интеграл функция Лапласа не представим в конечной форме, но он важен для практики, поэтому его значения затабулированы. Для вычисления интеграла (5) пользуются таблицами специальной функции, так называемой функции Лапласа, или интеграла вероятностей [4, 5]:

$$F(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^x \mathrm{e}^{-\frac{t^2}{2}}dt. \qquad (6)$$

Используя формулу интеграла вероятностей (6), получим:

$$P(x1<X<x2)=F\left(\frac{x2-m}{\sigma}\right)-F\left(\frac{x1-m}{\sigma}\right). \qquad (7)$$

Для случайной величины X, нормально распределенной с параметрами m и σ, вероятность того, что случайная величина удовлетворяет неравенствам $x1<X<x2$, определяется соотношением (7).

Найдем вероятность того, что нормально распределенная случайная величина X откло-

нится от параметра m по абсолютной величине не более, чем на ε, т. е. найдем $P(|X–m|<\varepsilon)$.

Так как неравенство $|X–m|<\varepsilon$ равносильно неравенствам $m–\varepsilon<X<m+\varepsilon$, то полагая в соотношении 4.19, что $x1 = m–\varepsilon$, $x2 = m+\varepsilon$, учитывая нечетность функции интеграла вероятностей получим:

$$P(|X-m|<\varepsilon) = 2\cdot F\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right) \qquad (8)$$

Для разработки алгоритма отбраковки измерений с аномальными значениями СКО рассмотрим рис. 1, где m – математическое ожидание измеряемого параметра.

На рис. 1 представлено 2 графика функций интегралов вероятностей случайных величин $X1$ и $X2$ с математическим ожиданием m и различными СКО ($\sigma1 < \sigma2$).

Для определения аномальности СКО случайной величины $X2$ относительно СКО случайной величины X1 необходимо определить вероятность попадания измерения $X2$ в интервал измерений $X1$.

Распределение случайных величин $X1$ и $X2$ подчинено нормальному закону. С вероятностью, равной 0,9973, можно утверждать, что случайная величина $X1$ находится в интервале $[m–3\sigma1,\ m+3\sigma1]$. Так как данная вероятность близка к единице, то можно считать, что значения ошибок измерений практически не выходят за границы интервала трех сигм [6].

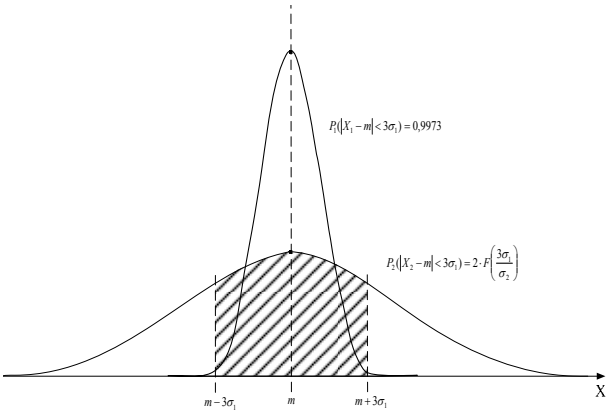


Рис. 1. Графики функций интегралов вероятностей с различными среднеквадратическими ошибками.

Вероятность попадания измерения $X2$ в интервал измерений $X1$ определяется по формуле:

$$P_2(|X_2-m|<3\sigma_1) = 2\cdot F\left(\frac{3\sigma_1}{\sigma_2}\right). \qquad (9)$$

Задавая порог P_2 – вероятность попадания измерения $X2$ в интервал измерений $X1$, можно определить порог соотношения $\sigma1/\sigma2$, ниже которого измерение $X2$ необходимо отбраковать, как аномальное по СКО. В таблице представлены значения функции (9).

Так, например, для соотношения СКО измерений 0,2 (СКО $\sigma2$ больше $\sigma1$ в пять раз) вероятность попадания измерения $X2$ в интервал измерений составляет 0,4515. Т. е. с вероятностью 0,5485 измерения $X2$ будут находиться за краем области измерений $X1$.

Таблица выбора значений порогового уровня для отбраковки измерений с аномальными значениями среднеквадратической ошибки

Значения функции $P_2(|X_2-m|<3\sigma_1) = 2\cdot F\left(\frac{3\sigma_1}{\sigma_2}\right)$

σ1/σ2	P_2	σ1/σ2	P_2	σ1/σ2	P_2	σ1/σ2	P_2
0	0	0,283333	0,60468	0,566667	0,91086	0,85	0,98922
0,016667	0,03988	0,3	0,63188	0,583333	0,91988	0,866667	0,99068
0,033333	0,07966	0,316667	0,65788	0,6	0,92814	0,883333	0,99196
0,05	0,11924	0,333333	0,68268	0,616667	0,93568	0,9	0,99306
0,066667	0,15852	0,35	0,70628	0,633333	0,94256	0,916667	0,99404
0,083333	0,19742	0,366667	0,72866	0,65	0,94882	0,933333	0,99488
0,1	0,23582	0,383333	0,74986	0,666667	0,95450	0,95	0,99562
0,116667	0,27366	0,4	0,76986	0,683333	0,95964	0,966667	0,99626
0,133333	0,31084	0,416667	0,78870	0,7	0,96428	0,983333	0,99682
0,15	0,34728	0,433333	0,80640	0,716667	0,96844	1	1
0,166667	0,38292	0,45	0,82298	0,733333	0,97220		
0,183333	0,41768	0,466667	0,83848	0,75	0,97556		
0,2	0,45150	0,483333	0,85294	0,766667	0,97856		
0,216667	0,48430	0,5	0,86638	0,783333	0,98122		
0,233333	0,51608	0,516667	0,87886	0,8	0,98360		
0,25	0,54674	0,533333	0,89040	0,816667	0,98572		
0,266667	0,57628	0,55	0,90106	0,833333	0,98758		

Разрабатываемый алгоритм должен выявить наличие измерений с аномальными СКО, находящихся на краях области определения параметра и отбраковать их.

Алгоритм отбраковки измерений с аномальными значениями СКО работает отдельно по каждому параметру (по *X*, по *Y* и по *Z*) и состоит из следующих основных этапов:

1. Задать минимальное количество измерений, которое должно пройти через алгоритм отбраковки измерений с аномальными значениями СКО.

2. Используя данные таблицы, задать порог отбраковки соотношения $U_{отбр} = \sigma 1/\sigma 2$.

3. Из всех входных измерений необходимо выбрать измерение с наименьшим СКО (измерение с параметром σ_{min}).

4. Вычислить для оставшихся измерений соотношения $U_n = \sigma_{min}/\sigma_n$.

5. Отсортировать измерения по возрастанию измеренного параметра.

6. Отбраковывать измерения, находящиеся на краях массива до тех пор, пока:

количество измерений не станет равным заданному минимальному количеству измерений, которое должно пройти через алгоритм отбраковки измерений с аномальными значениями СКО;

крайние измерения удовлетворяют требованию $U_n > U_{отбр}$.

Отбраковка измерений с аномальными СКО позволяет увеличить вычислительную устойчивость итерационного алгоритма совместной обработки и повысить общую точность полученных результатов за счет:

увеличения точности определения точки начального приближения;

уменьшения вероятности появления локальных минимумов на функции невязок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дедюнов А. Н., Онищенко Ю. А., Сенин А. И.* Адаптивные системы сбора и передачи аналоговой информации. Москва. Машиностроение. 1988 г. – 288 с.

2. *Браунли К. А.* Статистическая теория и методология в науке и технике. Перевод с английского М. М. Никулина. Москва. Наука. 1977 г.

3. *Третьяк Л. Н.* Обработка результатов наблюдений. Учебное пособие. Оренбург. ГОУ ОГУ. 2004 г. – 171 с.

4. *Хальд А.* "Математическая статистика с техническими приложениями". Перевод с английского Н. Н. Воробьева, В. В. Петрова и А. П. Хусу. Под редакцией Ю. В. Линника. Издательство иностранной литературы. Москва, 1956 г.

5. *Большев Л. И., Смирнов Н. В.* Таблицы математической статистики. Москва. Наука. 1983 г. – 416 с.

6. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей. Москва. Государственное издательство физико-математической литературы. 1962 г. – 565 с.

УДК 629.113

О. Прентковский, М. Богдявичюс, Р. Прентковскене, В. Бложе

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЯ С ЗАЩИТНЫМ ОГРАЖДЕНИЕМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ВЕРОЯТНОСТИ ПОВРЕЖДЕНИЯ ГОЛОВЫ ВОДИТЕЛЯ И ПАССАЖИРА

Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва
(olegas@ti.vgtu.lt, marius@ti.vgtu.lt, rasa@ti.vgtu.lt, tti@ti.vgtu.lt)

Моделирование движения транспортного средства и его взаимодействие с препятствиями. Создана комплексная модель, с помощью которой можно моделировать различные ситуации дорожного движения и определить множество параметров и характеристик, которые были бы полезны экспертам, расследующим аварийные ситуации на дорогах. Модель учитывает динамику автомобиля и защитного ограждения автомобильных дорог, а также физико-механические характеристики дороги.

Ключевые слова: автомобиль, покрытие дороги, взаимодействие колес автомобиля с покрытием дороги, защитное ограждение автомобильных дорог.

O. Prentkovsky, M. Bogdyavichus, R. Prentkovskene, V. Blozhe

MODEL OF INTERACTION OF THE CAR WITH A PROTECTIVE PROTECTION OF HIGHWAYS FOR AN ESTIMATION OF COEFFICIENT OF PROBABILITY OF DAMAGE OF A HEAD OF THE DRIVER AND THE PASSENGER

Modelling of movement of a vehicle and its interaction with obstacles. The complex model with which help it is possible to model various situations of traffic is created and to define set of parametres and characteristics which would be useful to the experts investigating emergencies on roads. The model considers dynamics of the car and a protective protection of highways, and also physicomechanical characteristics of road.

The car, road surfacing, interaction of sprockets of the car with a road surfacing, a protective protection of highways.

1. Введение

Современные автотранспортные средства (АТС) отличаются высокими динамическими качествами, позволяющими достигать большой скорости движения. Однако в условиях все возрастающей интенсивности движения на улицах городов и на загородных автомагистралях, особое значение приобретают вопросы безопасно-

сти дорожного движения. Статистика ДТП указывает на высокое количество аварий, обусловленных столкновением АТС с неподвижным препятствием.

Взаимодействие АТС с препятствием – сложный процесс, который зависит не только от динамических характеристик транспортного средства, но и от динамических характеристик препятствия, а также от физико-механических характеристик покрытия дороги.

Моделирование движения транспортного средства и его взаимодействие с препятствиями не является совсем новой проблемой. Данная проблема изучается многими учеными на протяжении многих десятилетий [1, 2].

Авторы данной публикации решают проблему по-другому, создав комплексную модель “дорога – автомобиль – ограждение”, с помощью которой можно моделировать различные ситуации дорожного движения и определить множество параметров и характеристик, которые были бы полезны экспертам, расследующим аварийные ситуации на дорогах [1–5]. Созданная комплексная модель учитывает динамику автомобиля и защитного ограждения автомобильных дорог, а также физико-механические характеристики дороги.

На рис. 1 представлено процентное распределение учетных дорожных происшествий (т. е. тех, которые зарегистрированы в Дорожной полиции Литвы). В течение календарного года в Дорожной полиции Литвы регистрируется 5000–6000 дорожных происшествий.

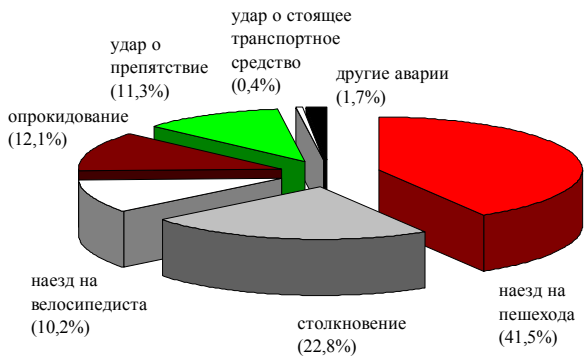


Рис. 1. Процентное распределение учетных дорожных происшествий (т. е. тех, которые зарегистрированы в Дорожной полиции Литвы)

Под понятием "удар о препятствие" (см. рис. 1) в классификации дорожных происшествий подразумеваются взаимодействия транспортных средств с защитными ограждениями автомобильных дорог; со строениями, расположенными вблизи автомобильных дорог; с деревьями и т. п.

2. Критерий для определения степени повреждения экипажа автомобиля

Коэффициент вероятности повреждения головы (*HIC – Head Injury Criteria*) стали использовать в мировой практике, как примерную оценку травматологической опасности автомобилей (после их взаимодействия с препятствиями) для головы водителя и пассажира.

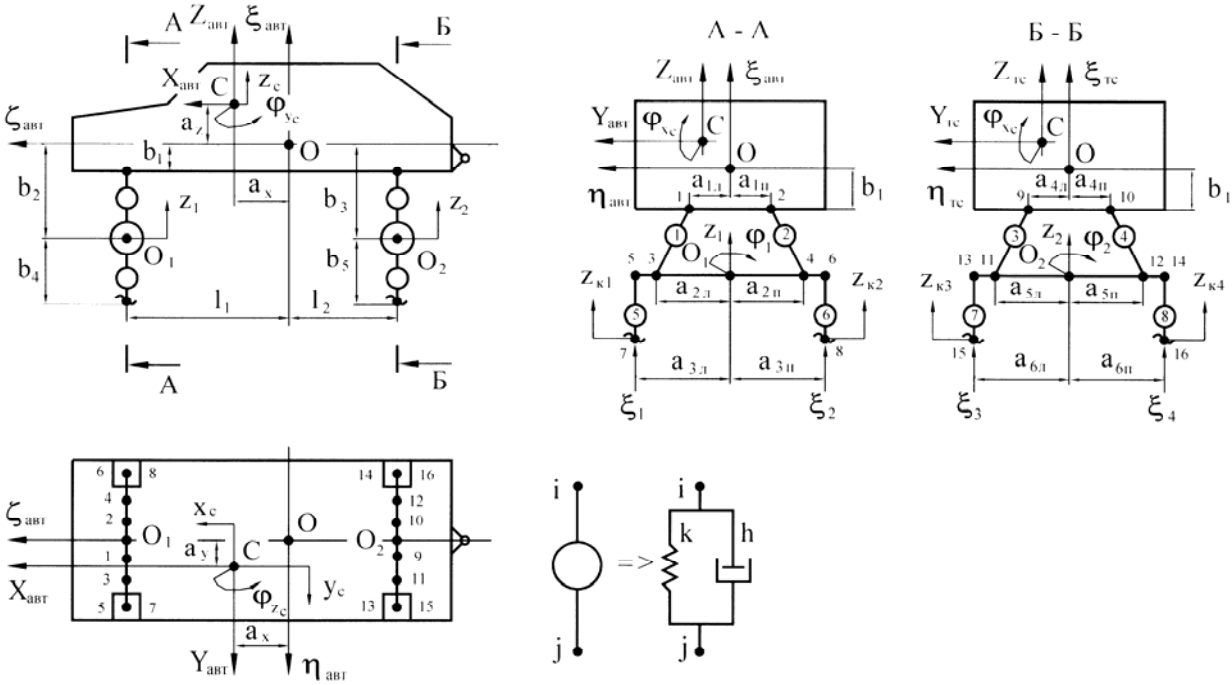


Рис. 2. Расчетная схема автомобиля

При *crash*-тестах с манекенами, имитирующими поведение реального человеческого тела (кинематику суставов, массу и упругость отдельных частей тела и т. д.), можно оценить лишь вероятность травмы. Для этого недостаточно максимального значения перегрузки – головной мозг может выдержать кратковременную перегрузку в 150 g (действовавшую в течение 1–2 мс), а может расплющиться о стенки черепа при замедлении в 100 g (действовавшем в течение 10–15 мс). Значит, нужно просуммировать значение перегрузки на опасном этапе удара. В этом и заключается физический смысл критерия *HIC* – это максимальный интеграл замедления на опасном участке, взятый на отрезке не более 36 мс с неким коэффициентом, который определен в ходе опытов на животных и добровольцах. То есть *HIC* фактически показывает "дозу поглощенного замедления" [2].

Вычисляется *HIC* с помощью персонального компьютера, который высчитывает по формуле, определенной международными правилами, все возможные интегралы на протяжении опасного участка графика замедления головы, а потом выбирает из них наибольший.

Вместе с тем, нельзя однозначно заявить, что автомобиль с меньшим значением *HIC* более безопасен при фронтальном столкновении, чем автомобиль, у которого *HIC* больше. И не только потому, что при дорожном происшествии играют роль и другие опасные ситуации, например, удар по затылку при отскоке или повреждение шейных позвонков при резких вращательных движениях головы после ударов о детали интерьера. Дело в том, что *HIC*, носит статистический характер и отображает лишь вероятную оценку травм головы. Так что критерий *HIC* нужно рассматривать вместе с другими результатами испытаний автомобилей.

Пороговой величиной *HIC*, за которой начинается область смертельно опасных повреждений головы, медики считают *HIC* = 1000 [2].

Коэффициент вероятности повреждения головы определяется [2]:

$$HIC = \max\left(\left(t_2 - t_1\right)\left(\frac{1}{\left(t_2 - t_1\right)} \int_{t_1}^{t_2} \frac{a(t)}{9{,}81} dt \right)^{2{,}5} \right),$$

где: t_1 – время начала взаимодействия автомобиля (или другого транспортного средства) с ограждением (или другим препятствием); t_2 – время конца взаимодействия автомобиля с ограждением; $a(t)$ – ускорение (замедление).

3. Краткое описание комплексной модели "дорога – автомобиль – ограждение"

3.1. Динамическая модель автомобиля

Автомобиль (рис. 2) моделируется концентрированными массами (кузов, передняя и задняя подвески, четыре колеса), соединенными между собой упругими и диссипативными связями [1–4].

В представленной модели учитывается движение кузова в трехмерном пространстве, перемещение и поворот подвесок относительно кузова, взаимодействие колес с дорогой, блокировка колес.

Для описания движения автомобиля введены обобщенные координаты, которые помещаются в вектор обобщенных координат:

$$\left\{q_{\text{авт}}\right\}^T =$$

$$= \left[x_C \; y_C \; z_C \; \varphi_{x_C} \; \varphi_{y_C} \; \varphi_{z_C} \; z_1 \; \varphi_1 \; z_2 \; \varphi_2 \; z_{к1} \; z_{к2} \; z_{к3} \; z_{к4} \right].$$

Движение автомобиля, как движение сложной механической системы, описывается уравнением Лагранжа второго рода. Систему уравнений движения концентрированных масс автомобиля можно записать в матричной форме:

$$\left[M_{\text{авт}}\right]\left\{\ddot{q}_{\text{авт}}\right\} = \left\{Q_{\text{авт}}\right\},$$

где: $\left[M_{\text{авт}}\right]$ – матрица масс автомобиля; $\left\{\ddot{q}_{\text{авт}}\right\}$ – вектор обобщенных ускорений концентрированных масс автомобиля; $\left\{Q_{\text{авт}}\right\}$ – вектор нагрузок, действующих на автомобиль.

Система уравнений движения автомобиля решается одним из методов численного интегрирования. В каждый момент времени учитывается наличие (отсутствие) контакта колес автомобиля с покрытием дороги, для чего записываются соответствующие условия контакта [1, 4].

3.2. Модель покрытия дороги

Для описания физико-механических характеристик покрытия дороги, т. е. неровностей покрытия и коэффициентов сцепления колес автомобиля с покрытием дороги, в характерных точках, используется метод конечных элементов [1, 3, 4].

Вся поверхность покрытия дороги разбивается на треугольные конечные элементы (рис. 3), в узлах которых задаются неровности и коэффициенты сцепления (в продольном и поперечном направлениях) колеса автомобиля с покрытием дороги. Зная неровности и коэффициенты сцепления в узлах элементов и применяя метод конечных элементов, можно определить значения этих параметров в любой точке покрытия дороги. Зная положение колес автомобиля на дороге (4 точки), вычисляются четыре значения неровностей и четыре значения коэффициентов сцепления под каждым конкретным колесом автомобиля.

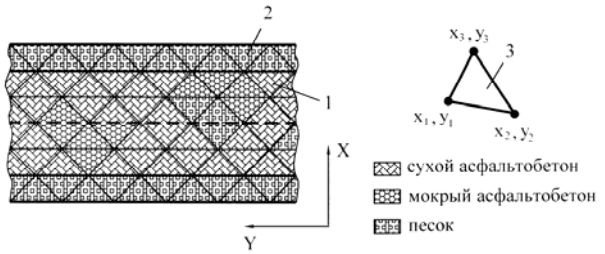
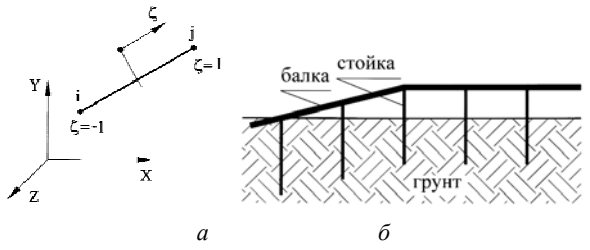


Рис. 3. Деление участка дороги на конечные элементы: *1* – проезжая часть дороги; *2* – обочина; *3* – треугольный конечный элемент



а *б*

Рис. 4. Расчетные схемы: *а* – одномерного конечного элемента; *б* – защитного ограждения автомобильных дорог

Неровности покрытия дороги в любой точке *x*, *y* конечного элемента аппроксимируются в следующем виде:

$$\xi(x,y)=\left[N(x,y)\right]\{\xi\},$$

где: $\xi(x,y)$ – неровности покрытия дороги в точке *x*, *y* конечного элемента; $\left[N(x,y)\right]$ – функции форм конечного элемента; $\{\xi\}$ – вектор неровностей покрытия дороги в узлах конечного элемента.

Коэффициенты сцепления задаются в продольном и поперечном направлениях колеса автомобиля. Их значения в любой точке *x*, *y* конечного элемента аппроксимируются в следующем виде:

$$\varphi_{сц}^{прод}(x,y)=\left[N(x,y)\right]\left\{\varphi_{сц}^{прод}\right\},$$

$$\varphi_{сц}^{попер}(x,y)=\left[N(x,y)\right]\left\{\varphi_{сц}^{попер}\right\},$$

где: $\varphi_{сц}^{прод}(x,y)$, $\varphi_{сц}^{попер}(x,y)$ – коэффициенты сцепления в точке *x*, *y* конечного элемента в продольном и поперечном направлениях колеса; $\left[N(x,y)\right]$ – функции форм конечного элемента; $\left\{\varphi_{сц}^{прод}\right\}$, $\left\{\varphi_{сц}^{попер}\right\}$ – векторы коэффициентов сцепления в узлах конечного элемента в продольном и поперечном направлениях колеса.

Зная значения коэффициентов сцепления в продольном и поперечном направлениях колеса автомобиля, по закону эллипса (именно так можно представить след шины на поверхности дороги), определяется коэффициент сцепления в направлении движения конкретного колеса [1].

3.3. Модель защитного ограждения автомобильных дорог

Защитное ограждение автомобильных дорог моделируется одномерными конечными элементами (рис. 4) [1, 2, 5]. При моделировании ограждения учитываются только упругие деформации его элементов. Исследуя деформацию стойки ограждения, принимается во внимание коэффициент упругого основания, который учитывает взаимодействие закопанной части стойки ограждения с грунтом [1, 5].

Профиль балки ограждения "*W*" формы, профиль стойки ограждения "∑" формы.

3.4. Модель взаимодействия автомобиля с защитным ограждением автомобильных дорог

Взаимодействие автомобиля с защитным ограждением автомобильных дорог моделируется упруго-вязким элементом (рис. 5), который прикладывается в точке взаимодействия автомобиля с защитным ограждением по нормали к контуру кузова автомобиля [1, 2]. Характеристика упруго-вязкого элемента описывается зависимостью, широко используемой в механике.

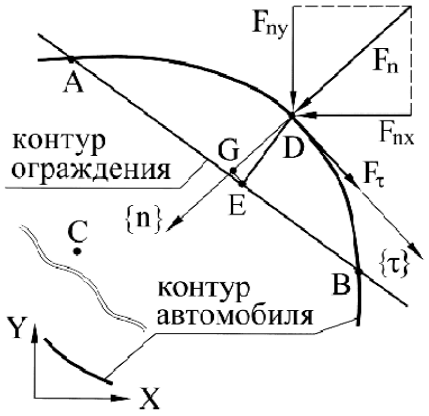


Рис. 5. Расчетная схема к определению сил взаимодействия автомобиля с защитным ограждением автомобильных дорог

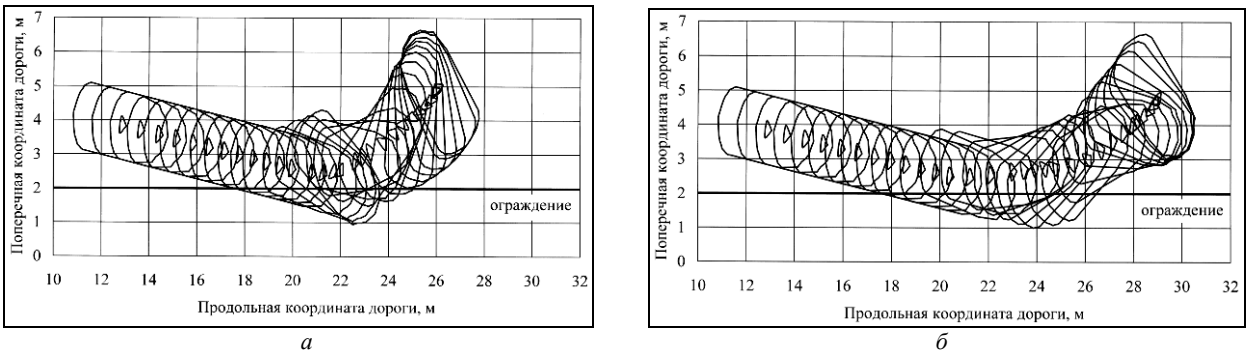
В модели учитывается изменение сил взаимодействия, действующих на автомобиль и защитное ограждение автомобильных дорог, а также изменение положения контакта автомобиля с защитным ограждением автомобильных дорог.

4. Результаты компьютерного эксперимента

Компьютерный эксперимент проведен с использованием компьютера и программного пакета *Compaq Visual Fortran* [6].

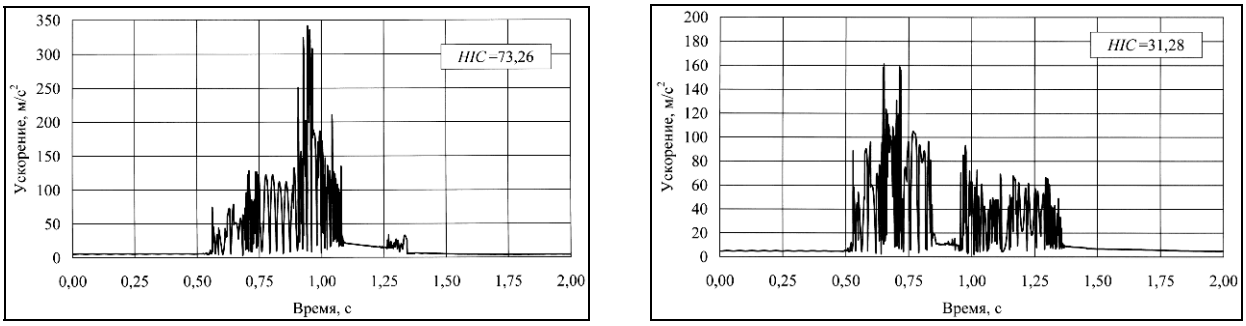
Представлены графические зависимости демонстрирующие:

- траектории движения автомобиля до, во время и после взаимодействия с защитным ограждением автомобильных дорог (рис. 6);
- ускорения (замедления) пассажира автомобиля (с вычисленными значениями параметра *HIC*) до, во время и после взаимодействия с защитным ограждением автомобильных дорог (рис. 7).



а *б*

Рис. 5. Траектории движения автомобиля (вид сверху) до, во время и после взаимодействия с защитным ограждением автомобильных дорог, начальная скорость движения 60 км/ч, начальный угол взаимодействия 10°, покрытие дороги асфальтобетон: *а* – сухой; *б* – мокрый



а *б*

Рис. 6. Ускорения пассажира автомобиля до, во время и после взаимодействия с защитным ограждением автомобильных дорог, начальная скорость движения 60 км/ч, начальный угол взаимодействия 10°, покрытие дороги асфальтобетон: *а* – сухой; *б* – мокрый

5. Выводы

1. Пояснено понятие коэффициента вероятности повреждения головы (*HIC – Head Injury Criteria*), используемого в мировой практике, как примерную оценку травматологической опасности автомобилей (после их взаимодействия с препятствиями) для головы водителя и пассажира.

2. С целью вычисления параметра *HIC* при исследовании взаимодействия автомобиля с защитным ограждением автомобильных дорог создана и исследована комплексная модель "дорога – автомобиль – ограждение", состоящая из моделей: автомобиля; покрытия дороги; взаимодействия колес автомобиля с покрытием дороги; защитного ограждения автомобильных дорог; взаимодействия автомобиля с защитным ограждением автомобильных дорог.

3. С помощью программного пакета *Compaq Visual Fortran* решена комплексная модель "дорога – автомобиль – ограждение", полученные результаты наглядно демонстрируются графическими зависимостями.

4. Представленная комплексная модель может быть использована для исследования различных дорожных ситуаций и решения проблем безопасности дорожного движения (например, для выявления виновников конкретного дорожного происшествия; ограждение какого типа и на котором участке дороги должно быть установлено; каким должен быть радиус криволинейного участка дороги, чтобы транспортное средство не съехало бы с проезжей части; для определения множества параметров и характеристик, которые были бы полезны экспертам, расследующим аварийные ситуации на дорогах).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Prentkovskis, O.* Interaction between the vehicle and obstacles: Summary of Doctoral Dissertation (Technological Sciences, Transport Engineering). – Vilnius: Technika, 2000. – 56 p. (на англ. языке).

2. *Баублис, А., Богдявичюс, М., Прентковский, О.* и др. Транспорт: технологии, экономика, окружающая среда, здоровье: монография (*Baublys, A.; Bogdevičius, M.; Prentkovskis, O. ir kt.* Transportas: technologijos, ekonomika, aplinka, sveikata: Monografija). – Вильнюс: Техника, 2003. – 876 с. (на литовском языке).

3. *Bogdevičius, M., Prentkovskis, O., Vladimirov O.* Engineering solutions of traffic safety problems of road transport // Transport. – Vilnius: Technika, 2004. – Vol. XIX. – № 1. P. 43–50. (на английском языке).

4. *Прентковський, О.* Рух транспортного засобу по нерівній дорозі // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: международный сборник научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2004. Вып. 28. – С. 137–141. (на украинском языке).

5. *Prentkovskis, O., Bogdevičius, M.* Investigation of beam metal road guardrail // The 6th International Conference "Environmental Engineering" Selected Papers Vol II. 26–27 May, 2005, Vilnius. – Vilnius: Technika, 2005. P. 765–770. (на английском языке).

6. *Schick W., Silverman G.* Fortran 90 and engineering computation. – John Wiley & Sons, 1995. – 425 p. (на английском языке).

УДК 004.912

Г. И. Брызгалин

ПОСТРАНИЧНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕКСТА РУКОПИСНОЙ КНИГИ "СЛОВО О ПОЛКУ ИГОРЕВЕ" 13-15 вв.

Волжский филиал Московского энергетического института (ТУ) (cad@vstu.ru)

В статье исследуется вопрос восстановления постраничного распределения текста в первой рукописной книге "Слова о полку Игореве". Решается задача выявления и обоснования места расположения частей текста из первой рукописной книги "Слова о полку Игореве", оказавшиеся при разрушении книги на фрагментах разорванных на части листов и потому сменивших свое местоположение.

Ключевые слова: нормализованный текст, распределение текста, инженерный проект.

G. I. Bryzgalin

PAGINAL DISTRIBUTION OF THE TEXT OF THE HAND-WRITTEN BOOK «THE WORD ABOUT SHELF IGOR» 13-15 CENTURIES

In clause the question of restoration paginal is investigated distributions of the text in the first hand-written book " Words about shelf Igor". The problem of revealing and substantiation of the location is solved parts of the text from the first hand-written book " Words about shelf Igor", the books which have appeared at destruction on fragments broken off on a part of sheets and consequently replaced the site.

The normalized text, distribution of the text, the engineering project.

Согласно мнению ряда исследователей, см. например [1–4], дошедший до нас текст "Слова о полку Игореве" имеет нарушения оригинального Авторского порядка. В работах [5, 6] на основе анализа количественных свойств "Слова" предложена гипотеза о том, что его текст претерпел две "фундаментальные катастрофы" и записана версия, названная *нормализованным текстом* Авторских листов "Слова о полку Игореве", которую и здесь будем использовать в качестве модели Оригинала. Согласно гипотезе в первой катастрофе были переставлены некоторые из Авторских листов перед записью с них первой рукописной книги. Эта книга, назовем ее Первым официальным изданием, или коротко Изданием 1, по-видимому, просуществовала в течение 13–15 столетий. После ее разрушения, предположительно во время наводнения на реке Великой, с ее частично разделенных и разорванных на кусочки листов записаны с новыми нарушениями порядка тексты Изданий 2 и 2с (вторая катастрофа) [6], послужившие начальными протографами для последующих списков с них вплоть до Первого печатного издания 1800 года, см. [7].

Продолжая линию исследования структуры и порядка текста этого стихотворного произведения с использованием формального количественного обоснования предлагаемых вариантов, поставим целью восстановление *постраничного распределения текста* в той первой рукописной книге Издания 1. Конкретная задача, решение которой способно определить момент истины как для правильности распределения по страницам, так и для достоверности самого восстановленного ранее нормализованного текста: *убедительно выявить и обосновать места расположения частей текста Издания I, оказавшиеся при второй катастрофе на фрагментах разорванных на части листов и потому сменивших свое местоположение при записи Издания 2*.

Будем опираться на *рабочую гипотезу* о структуре постраничной записи текста Издания 1, состоящую в том, что она уже несет в себе нарущения порядка текста – перестановки от первой катастрофы Этот текст Издания 1, несущий первые искажения порядка, и записан в нормализованним виде в конце статьи с указанием количества букв на каждой странице, а также при сквозном накапливаеим счете. Оставляя в стороне детальное описание того, как эта постраничная структура была получена (естественно, посредством догадок, многочисленных проб и ошибок), отметим лишь главную исходную посылку. При поиске размера объема текста на предполагаемом расчетном листе Издания 1 было найдено следующее соотношение для общего количества букв в "Слове":

$$14280 = 120a = 117a + 3a = \mathbf{9} \cdot \mathbf{13}a + 3a,$$

где величина *a,* равная 119 буквам представляет собой размер (количество букв) Авторского расчетного куплета. Это равенство навело на простую мысль, что весь текст мог быть записан на **9** двойных листах, несущих по 13 куплетов каждый, и одном внешнем, обложечном с остальной частью текста. В связи с этим, распределение текста всего произведения выстроено,

опираясь на допущение, что 13 куплетов действительно служили еще одной (более крупной) мерной единицей длины текста рукописной книги, и эта единица равна 13 · 119 = 1547 буквам. Тогда одинарный расчетный лист должен равняться половине двойного: Л = 6,5*а* = 773,5 буквам. Так что издательский расчет постраничного распределения текста книги мог опираться и на равенство: **14280 = 18Л + 3*а*.**

Однако, похоже на то, что окончательная схема количественного распределения текста получилась на деле несколько иной. На самом первом листе средневековой книги (первой половине двойного обложечного листа) было расположено *заглавие произведения и имя Автора*, на ее обороте – текст из 430 букв. Предпоследний 19-й одинарный лист содержал на обеих страницах тексты с точно подобранным размером из 335 букв каждая, а последний 20-й по порядку одинарный лист текста не содержал. Остальные 17 внутренних листов имели регулярную структуру, выдержанную при записи с погрешностью в среднем порядка 10 букв. Каждый из регулярных листов на своей первой расчетной странице (надо полагать, в соответствии с Авторским издательским проектом) содержит примерно три расчетных куплета, или 357 букв, а на второй – три с половиной куплета, или 416,5 букв.

Отметим еще раз, что в качестве модели текста Авторского оригинала используется представленный в [5, 6] нормализованный текст "Слова", измененный следующим образом. Во-первых в нем поправлены замеченные в [5, 6] перед написанием этой статьи малозначительные описки, а главное – этот текст "Слова" записан здесь в конце статьи в искаженном после первой катастрофы порядке. Где-то на самом рубеже 12–13 вв. некоторые листы Авторского Оригинала, записанного постишно, перед созданием книги Издания I были взаимно переставлены как целое.

В таком виде, с целью избежать наложения перестановок первой и второй катастроф и четко отобразить (будущие!) перестановки именно второй катастрофы, дающие ценную информацию о постраничной структуре, и принято решение о таком порядке текста в данной работе. Основная часть текста выровнена по левому краю. Если же встречается участок текста, выровненный по центру,

[каждый фрагмент вырванного текста
здесь подчеркнут и выровнен по центру 62],

то читать его следует, не обращая внимания на указанные графические особенности. Эти пометы означают лишь то, что в будущем соответствующий кусочек выпадет из листа и потом при создании нового списка в начале 16 века будет переставлен (переписан) в другое место. По числу букв, указанному в конце такого текста, как по метке, можно находить, куда он был вставлен при собирании книги после второй катастрофы: это место отмечено стрелкой с тем же числом. Не имея возможности обстоятельно изложить здесь логические и иные основания каждой такой перестановки, обратим внимание на формальные результаты.

Все перестановки обрывков оказались относящимися к группе из 8 листов с номерами от 8-го до 15-го. Похоже на то, что связка из четырех двойных листов (хотя могли быть среди них и пары одиночных) во время наводнения выпала из книги, и эти листы получили гораздо большие повреждения, чем остальные. Чтобы судить о правильности предлагаемого здесь устраненения последствий второй катастрофы, достаточно сравнить по связности смысла текст вблизи этих напечатанных по центру отрывков с тем, что мы имеем при чтении соответствующих мест в Первом печатном издании 1800 года.

Распределение текста по страницам разработано с учетом согласованного выполнения естественных для поэтического произведения, но противоречащих друг другу требований частичного сохранения целостности стихов и соблюдения нормативного количества букв на страницах. Сама по себе, эта постраничная запись лишь представляет на суд читателя возможность именно такого распределения текста по страницам Издания 1. Никаких художественных или логических доводов в ее пользу здесь не приводится, хотя они, конечно, имеются. Обоснование близости предлагаемого варианта к распределению текста действительной существовавшей когда-то рукописной книги будем искать в характерных количественных свойствах записанного постраничного распределения. Прежде всего отметим главное: *в сквозном накапливаемом счете от начала произведения, ведущемся постранично, отклонения от проектных значений, кратных мерным страницам из 357 и 416,5 букв, не накапливаются (!)*, что на языке математики убедительно свидетельствет в пользу не вполне случайного характера их величины.

Естественно принять, что текущее отклонение объема текста на каждой странице от предписанного проектом точного значения должно бы быть представимым в форме суммы точного расчетного значения плюс случайное отклонение от него. Отсутствие накопления таких отклонений в сквозном счете остается трактовать лишь как следствие преднамеренных правок текста при создании поэтического произведения для обеспечения гашения накапливаемых погрешностей. Маловероятно, что Автор стихотворного произведения с самого начала думал о расположении куплетов на страницах книги. Логичнее допустить, что эффект ненакопления отклонений тесно связан с процессом создания постишной и покуплетной структуры, когда, как показано ранее, сознательно преследовалась именно такая цель [4].

Легко видеть, что распределение текста по страницам не нарушает созданного много ранее распределения по поэтическим строкам: они не разрываются при переходе от страницы к странице. И это не составило автору настоящей статьи никакого труда, получилось само собой. Не смотря на это, отклонения как в постраничном текущем, так и в накапливаемом счете от значений, кратных размеру текста на мерной странице, имеют один и тот же порядок и составляют малые проценты от среднего размера страницы. Тут уместно заметить, что в этом отношении запись "Слова" разительно отличается от обычной для средневековых рукописных книг: там при переходе на следующую строку даже в хорошо иллюстрированных официальных изданиях не заботились о сохранении целыми отдельных слов.

Тот же высокий порядок наблюдается на концах страниц и для отклонений от величин, кратных числу куплетов. На предположительно выпавшей пачке из 8 вырванных листов имеется следующее количество букв: $6189 = 8Л + 1 = 52a + 1$. На шести из этих листов, от 2-го до 7-го включительно, число букв равно $4631 = 6Л - 10$. Некоторый диссонанс вносит то факт, что одинарный мерный лист не кратен мерному куплету, поэтому следует ожидать кратного числа куплетов по одинарным листам только через один лист.

Для наглядного представления общей картины последствий катастрофы на пачке из 8 листов была составлена схема мест разрыва, см. табл. 1. Границы вырванных фрагментов текста изображены волнистыми линиями на отдельных страницах, представляемых ячейками таблицы. Число над каждой линией указывает количество букв текста от начала страницы до указываемого линией места, т. е. играет роль расстояния места разрыва от верхней кромки листа.

Наиболее точные совпадения границ вырванного текста на обеих страницах одного листа наблюдаются на 8-м, 10-м и 15-м листах, что с большой достоверностью может трактоваться как физический разрыв листа, на 8-м листе – два таких места. В некоторых случаях, когда на одной странице листа отмечен разрыв, на обороте ему противостоит т. н. темное, т. е. непонятное место.

Таблица 1

Границы перемещенных текстов с указанием расстояния от края листа

№ 8_1	№ 8_2	№ 9_1	№ 9_2	№10_1	№ 10_2	№ 11_1	№ 11_2	№15_1	№ 15_2
66									
117	**114**								
		151			167				**176**
				178					
		186		214	**184**			**243**	**238**
			301					**321**	
		290				**308**			
373	**357**								

Надо иметь в виду и то, что отсутствие совпадения линий или отсутствие самих линий на странице не означает однозначно отсутствие разрыва, поскольку реставраторы могли правильно восстановить текст, уничтожив тем самым следы катастрофы. Однако и сохранившиеся следы довольно убедительно помогают восстановить картину произошедшего: внешние листы связки пострадали сильнее, внутренние – в среднем меньше или вовсе не пострадали. На уровнях десятой-одиннадцатой строк (176–186 букв от начала листов) вполне просматривается возможность сквозного разрыва всей пачки листов.

В остальной части книги Издания 1 видимых следов второй катастрофы по этим данных не наблюдается. Нельзя достоверно утверждать, что точно такие конкретные значения количества букв на каждой странице и были в Издании 1, но множество почти точных значений расчетного листа на листах нормализованного текста, продемонстрированное здесь полное сохранение в постраничной записи стихотворных строк, а особенно сохранение этих особенностей в сквозном счете указывают на реальную возможность и большую вероятность примерно такого их сознательного подбора. Примечательна и вероятна, хотя и не вполне достоверна возможность совпадения количества букв на обеих страницах последнего листа (точно по 335 букв).

Все это, а также другие сведения [4, 5], дают основания полагать, что сам Игорь Святославич задумал и рассчитал первое Издание своей поэмы, с высочайшей точностью осуществив свой поэтический и инженерный проект. Этот вывод, представляющийся автору статьи бесспорным, ставит, однако, вопрос: но если Автор поэмы сам рассчитал представленное постраничное расположение, то о каких перестановках Оригинального порядка текста в первой катастрофе можно вести речь? На это можно ответить так. Ошибочные перестановки в начале и середине произведения все же были, и не без оснований часть из них признается авторитетными знатоками "Слова". Ничего странного в этом факте нет. Поскольку перестановки первой катастрофы совершались с целыми куплетами и стихами, а эта структура соблюдалась на Авторских листах, то нетрудно допустить, что эти листы были перепутаны перед записью Первого издания в отсутствие Автора. А вот последняя перестановка стихов о погоне и о разговоре Игоря с Донцом, кстати, не предлагаемая, по-видимому, никем, кроме автора этой статьи, влияет на представленное распределение текста в том смысле, что если ее не сделать, то не получается равенства букв на страницах последнего листа.

Более важна для понимания текста наглядно подтверждаемая представленной таблицей вторая катастрофа, в которой были разорваны отдельные листы. В результате средневековый читатель стал искаженно понимать, от чьего имени написаны те или иные высказывания, тем самым был существенно нарушен смысл произведения. Это могло роковым образом повлиять на сложившееся мнение о якобы неизвестном Авторе "Слова" [5].

Слово о полку Игореве Игоря сына Святъславля Внука Олгова	**Н**е лепо ли ны бяшетъ братие Начати старыми словесы Трудныхъ повестий О полку Игореве Игоря Святъславлича Начати же ся тои песни По былинамъ сего времени А не по замышлению Бояню Боянъ бо вещий аще кому Хотяще песнь творити То растекашется Мыселью по древу Серымъ вълкомъ по земли Сизымъ орломъ подъ облакы Помянешеть бо рекоша Первыхъ времёнъ усобицы Тогда пущашетъ Ѣ соколовъ На стадо лебедей Который дотечаше Та преди песнь пояше Старому Ярослову Храброму Мстиславу Иже зареза Редедю Предъ полкы Касожьскыми
На странице 1_1: 49 **От начала : 49**	*На странице 1_2:* 430. **На листе 1: 479** **От начала: 479=49+Б+13,5=4*а*+3**

Красному Романови Святъславличу Боянъ же братие Не Ї соколовъ На стадо лебедей пущаше Но своя вещиа персты На живая струны въскладаше Они же сами Княземъ славу рокотаху Почнёмъ же братие повесть сию Отъ стараго Владимира До нынешняго Игоря Иже истягну умъ Крепостию своею И поостри Сердца своего мужествомъ Наполнився ратнаго духа Наведе своя храбрыя полкы На землю Половецкую За землю Рускую Тогда Игорь възре На светлое солнце	И виде отъ него тьмою Вся своя воя прикрыты И рече Игорь Къ дружине своей Братие и дружино Луце жъ бы потяту быти Неже полонену быти А всядемъ братие На свои борзыя комони Да позримъ синего Дону Спала князю умъ похоти И жалость ему знамение заступи Искусити Дону Великаго Хощу бо рече Копие приломити Конець поля половецкаго Съ вами русичи хощу Главу свою приложити А любо испити шеломомъ Дону О Бояне Соловию стараго времени Абы ты сиа полкы ущёкоталъ Скача славию По мыслену древу
На странице 2_1: 362 **От начала: 811=49+Л–11,5**	*На странице 2_2: 409.* **На листе 2: 761** (–12,5) **От начала: 1240 = 49+Б+Л+1**

Летая умомъ подъ облакы Свивая славою Оба полы сего времени Рыща въ тропу Трояню Чрезъ поля на горы Пети было песнь Игореви Того Олга внуку Не буря соколы занесе Чрезъ поля широкая Галицы стады бежатъ Къ Дону Великому Чили воспети было Вещий Бояне Велесовь внуче Комони ржуть за Сулою Звенить слава въ Киеве Трубы трубять въ Новеграде Стоять стязи въ Путивле Игорь ждётъ Мила брата Всеволода И рече ему Буй Туръ Всеволодъ	Одинъ братъ Одинъ светъ светлый ты Игорю Оба есве Святъславлича Седлай брате свои борзыи комони А мои ти готовы оседланы У Курьска напереди А мои ти куряни сведомы къмети Подъ трубами повиты Подъ шеломы възлелеяны Конецъ копия въскоръмлены Пути имъ ведомы Яруги имъ знаемы Луки у нихъ напряжёны Тулы отворены Сабли изъострены Сами скачуть Аки серые вълки въ поле Ищучи себе чти А князю славы Тогда въступи Игорь князь Въ златъ стремень И поеха по чистому полю Солнце ему тьмою Путь заступаше
На странице 3_1 : 350 **От начала: 1590=49+2Л–6**	*На странице 3_2 :* 410. **На листе 3: 760** (–13,5) **От начала: 2000=(49+Б)+2Л–12,5 = 17*а*–23**

Нощь стонущи ему грозою Птичь убуди Свистъ зверинъ въста Възбися Дивъ Кличетъ верху древа Велитъ послушати земли незнаеме Вълзе и Поморию и Посулию И Сурожу и Корсуню И тебе Тьмутороканьский болванъ А половцы неготовами дорогами	Лисицы брешутъ На чърлёные щиты О Руская земля Уже за шеломянемъ еси Долго ночь меркнетъ Заря светъ запала Мъгла поле покрыла Щёкотъ славий успе Говоръ галичь убудися Русичи великая поля Чьрлёными щиты прегородиша

Побегоша къ Дону Великому Крычатъ телегы полунощи Рцы лебеди роспужены Игорь къ Дону вои ведётъ Уже бо беды его Пасётъ птичь по дубию Вълки грозу воскрожатъ по яругамъ Орлы клёктомъ на кости Звери зовутъ	Ищучи себе чти А князю славы Съ зарания въ пятъкъ потопташа Поганыя полкы половецкыя И рассушась Стрелами по полю Помчаша красныя девкы половецкыя А съ ними злато и паволокы И драгыя оксамиты Орьтъмами и япончицами и кожухы Начаша мосты мостити По болотомъ и грязивымъ местомъ
На странице 4_1 : 363 **От начала: 2363=49+3Л–6,5**	*На странице 4_2:* 413. **На листе 4: 776** (2,5) **От начала: 2776=(49+Б)+3Л–10**

И всякыми узорочьи Половецкыми Чьрлёнъ стягъ Бела хорюговь Чьрлёна чёлка Сребрено стружие Храброму Святъславличу Дремлетъ въ поле Олгово хороброе гнездо Далече залетело Не было оно обиде порождено Ни соколу ни кречету Ни тебе чёрный воронъ Поганый половчине Гзакъ бежитъ серымъ вълкомъ Кончакъ ему следъ править Къ Дону Великому Другаго дня велми рано Кровавыя зори Светъ поведаютъ Чёрныя тучи съ моря идутъ Хотятъ прикрыти 4 солнца	А въ нихъ трепещуть Синии молнии Быти грому великому Итти дождю стрелами Съ Дону Великаго Ту ся копиемъ приламати Ту ся саблямъ потручати О шеломы половецкыя На реке на Каяле У Дону Великаго О Руская земле Уже за шеломянемъ еси Се ветри Стрибожи внуки Веютъ съ моря стрелами На храбрыя полкы Игоревы Земля тутнетъ Реки мутно текуть Пороси поля прикрываютъ Стязи глаголютъ Половцы Идуть отъ Дона и отъ моря И отъ всехъ странъ Руские полкы обступиша Дети бесови кликомъ Поля перегородиша
На странице 5_1: 368 **От начала: 3144=49+4Л+1**	*На странице 5_2:* 405. **На листе 5 : 773** (–0,5) **От начала: 3549=(49+Б)+4Л–10,5 =30*а*–21**

А храбрыи русичи преградиша Чърлёными щиты Яръ туре Всеволоде Стоиши на борони Прыщеши на вои стрелами Гремлеши о шеломы Мечи харалужными Камо туръ поскочаше Своимъ златымъ Шеломомъ посвечивая Тамо лежатъ поганыя Головы половецкыя Поскепаны саблями калёными Шеломы аварьские Отъ тебе Яръ туре Всево́лоде Кая рана дорога братие Забывъ чти и живота И града Чърнигова Отня злата стола И своя милыя хоти Красныя Глебовны Свычая и обычая	Были вечи Трояни Минула лета Ярославля Были полки Олговы Олга Святъславлича Той бо Олегъ Мечёмъ крамолу коваше И стрелы по земли сеяше Ступаетъ въ златъ стремень Въ граде Тьмуторокане Той же звонъ слыша Давный великый Ярославль сынъ Всеволодъ А Владимиръ по вся утра Уши закладаше Въ Чернигове Бориса же Вячеславлича Слава на судъ приведе И на Канину зелену наполому Постла за обиду Олгову Храбра и млада князя Съ тоя же Каялы Святопълкъ Повеле я отца своего Между угорьскими иноходьцы Ко святей Софїи къ Киеву
На странице 6_1: 366 **От начала: 3915=49+5Л–1,5**	*На странице 6_2:* 427. **На листе 6: 793** **От начала: 4342=(49+Б)+5Л+9=49+36*а*+9**

Тогда при Олзе Гориславличи Сеяшется И растяшеть усобицами Погибашеть жизнь Даждьбожа внука Въ княжихъ крамолахъ Вещи человекомъ скратишась Тогда по Руской земле Ретко ратаеве кикахуть Но часто враны граяхуть Трупиа себе деляче А галицы свою речь говоряхуть Хотять полетети на уедие То было въ ты рати И въ ты полкы А сицеи рати Не слышано Съ зараниа до вечера Съ вечера до света Летятъ стрелы калёныя Гримлютъ сабли о шеломы	Трещатъ копия харалужныя Въ поле незнаеме Среди земли половецкыи Чёрна земля подъ копыты Костьми была посеяна А кровию польяна Тугою взыдоша По Руской земли Что ми шумить Что ми звенить Давеча рано предъ зорями Игорь полкы заворочаетъ Жаль бо ему Мила брата Всеволода Бишася день бишася другый Третьяго дня къ полудню Падоша стязи Игоревы Ту ся брата разлучиста На брезе быстрой Каялы Ту кроваваго вина недоста Ту пиръ докончаша Храбрыи русичи Сваты попоиша а сами Полегоша за землю Рускую *1-е место достоверного нарушения порядка текста при второй катастрофе*
На странице 7_1 : 356 **От начала: 4698=49+6Л+8**	*На странице 7_2 :* 412. **На листе 7: 768 (–5,5)** **От начала: 5110 = 49+Б+6Л+3,5 = 43*а*–7**

[Рускаго злата насыпаша Ту Игорь князь выседе Изъ седла злата А въ седло кощиево 66] ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ Ничить трава жалощами А древо съ тугою Къ земли преклонилось ***117*** [243→ ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ [О далече зайде соколъ Птиць бья къ морю А Игорева храбраго полку Не кресити За нимъ кликну Карна И Жля поскочи По Руской земли Смагу мычучи въ пламяне розе Жёны руския Въсплакашась аркучи Уже намъ своихъ милыхъ ладъ Ни мыслию смыслити Ни думою сдумати Ни очима съглядати А злата и сребра Ни мало того потрепати 256] ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ **373**	И начаша князи про малое Се великое молвити А сами на себя Крамолу ковати А поганыи съ всехъ странъ Прихождаху съ победами На землю рускую ***114*** ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ ←256] [Уже бо братие Невесёлая година въстала Уже пустыни силу прикрыла Въстала Обида Въ силахъ Даждьбожа внука Вступила девою На землю Трояню Въсплескала лебедиными крылы На Синемъ море у Дону Плещучи упуди жирня времена Усобица княземъ На поганыя погыбе Рекоста бо братъ брату Се моё а то моё же 243] **357** ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ А въстона бо братие Киевъ тугою А Черниговъ напастьми
***На странице* 8_1: 373** **От начала: 5483=49+7Л+19,5;**	***На странице* 8_2: 402. На листе 8: 775** **От начала: 5885=(49+Б)+7Л+5=49+49*а*+5**

Тоска разлияся по Руской земли Печаль жирна тече Средь земли Руской А князи сами на себя Крамолу коваху А поганыи сами победами Нарыщуще на Рускую землю Емляху дань По беле отъ двора ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	Отецъ ихъ Святъславъ Грозный великый Киевьскый Грозою бяшеть притрепалъ Своими сильными полкы И харалужными мечи Наступи на землю Половецкую Притопта хълмы и яругы Взмути реки и озеры Иссуши потоки и болота

[Уныша бо градомъ забралы А веселие пониче 35] 186 ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ [Ту немцы и венедицы Ту грецы и морава Поютъ славу Святъславлю Кають князя Игоря Иже погрузи жиръ Во дне Каялы Рекы половецкия 104] ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ **290** Тии бо два Храбрая Святъславлича Игорь и Всеволодъ Уже лжу убудиста Которую то бяше успилъ	А поганаго Кобяка Изъ луку моря Отъ железныхъ великихъ Полковъ половецкихъ Яко вихрь выторже И падеся Кобякъ Въ граде Киеве Въ гриднице Святъславли ←104 ←66 ←35 **301** ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ А Святъславъ мутенъ сонъ Виде въ Киеве на горахъ Си ночь съ вечёра Одевахуть мя рече Чърною наполомою На кроваты тисове Чърпахуть ми синее вино
На странице 9_1 : 366 **От начала: 6251=49+8Л+14**	*На странице* 9_2 : 420. **На листе 9: 786** **От начала: 6671=(49+Б)+8Л+17,5 =56*а*+7**

Съ трудомъ смешено Сыпахуть ми тощими тулы Поганыхъ толковинъ Великий женчугь на лоно И негуютъ мя Уже доскы безъ кнеса Въ моёмъ тереме златоверсемъ Всю нощь съ вечёра Бусовы враны възграяху У Плесньска на болони **178** Беша дебрьски сани И несоша е къ Синему морю И ркоша бояре князю Уже княже туга Умъ полонила Се бо два сокола слетеста Съ отня стола злата Поискати града Тьмутороканя А любо испити Шеломомъ Дону Уже соколама крылца	Припешали поганыхъ саблями А самаю опуташа Въ путины железны Темно бо бе въ 3 день Два солнца померкоста Оба багряная столпа погасоста И съ нимъ молодая месяца Олегъ и Святъславъ Тьмою ся поволокоста [И въ море погрузиста 17] **184** ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ На реке на Каяле Тьма светъ покрыла По Руской земли Прострошася половцы Аки пардуже гнездо ←17] И великое буйство падоста хинови Уже снесеся хула на хвалу Уже тресну нужда на волю Уже вържеся Дивъ на землю Се бо готския красные девы Въспеша на брезе Синему морю Звоня рускымъ златомъ
На странице 10_1 *:* 355 **От начала: 7026 =49+ 9Л +15,5**	*На странице* 10_2 *:* 415. **На листе 10: 770** **От начала: 7441=(49+Б)+9Л+14=49+63*а***

Поютъ время Бусово Лелеють месть Шароканю А мы уже дружина Жадни веселия Тогда великий Святъславъ Изрони злато слово Слезами смешено И рече о моя сыновча Игорю и Всеволоде Рано еста начала Половецкую землю Мечи квелити А себе славы искати Но не честно одолесте Не честно бо Кровь поганую пролиясте	А заднюю ся сами поделимъ 67] Се ли створисте Моей сребреней седине А уже не вижду власти Сильнаго и богатаго И многовои Брата моего Ярослава Съ черниговьскими былями Съ могуты и съ татраны И съ шельбиры и съ топчакы И съ ревугы и съ ольберы Тии бо бесъ щитовъ Съ засапожникы Кликомъ полкы побеждаютъ Звонячи въ прадеднюю славу ←67]

Ваю храбрая сердца Въ жестоцемъ харалузе скована А въ буести закалена ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ 308 [Нъ рекосте Мужаимеся сами Преднюю славу сами похитимъ	А чи диво ся братья Стару помолодити Коли соколъ Въ мытехъ бываетъ Высоко птицъ възбиваетъ Не дастъ гнезда своего въ обиду Но се зло гняже ми непособие На ниче си годины обратиша
На странице 11_1 : 354 **От начала: 7795=49+10Л+11**	*На странице* 11_2 : 414. *На листе 11:* 768 **От начала**: **8209=(49+Б)+10Л+8,5=69*а*–2**

Се у Римъ кричатъ Подъ саблями половецкыми А Володимиръ подъ ранами Туга и тоска сыну Глебову Великый княже Всеволоде Не мыслию ти Прелетети издалеча Отня злата стола поблюсти Ты бо можеши Волгу Вёслы раскропити А Донъ шеломы выльяти А же бы ты былъ То была бы чага по ногате А кощей по резане Ты бо можеши посуху Живыми шереширы стреляти Удалыми сыны Глебовы Ты буй Рюриче и Давыде Не ваю ли злачёные шеломы По крови плаваша	Не ваю ли храбрая дружина Рыкаютъ аки туры Ранены саблями калёными На поле незнаеме Вступита господина Въ злата стремена За обиду сего времени За землю Рускую За раны Игоревы Буего Святъславлича Галичкый Осмомысле Ярославе Высоко седиши На своёмъ златокованнемъ столе Подперъ горы Угорьскыи Своими железными полки Заступивъ королеви путь Затворивъ Дунаю ворота Меча бремены чрезъ облаки Суды рядя до Дуная Грозы твоя По землямъ текутъ Отворяеши Киеву врата Стреляеши Съ отня злата стола Салтаны за землями
На странице 12_1 *:* 350 **От начала: 8559=49+11Л+1,5**	*На странице* 12_2*:* 430. **На листе 12: 780** **От начала**: **8989=(49+Б)+11Л+15=49+75*а*+15**

Стреляй господине Кончака Поганого кощея За землю Рускую За раны Игоревы Буего Святъславлича А ты буй Романе И Мстиславе Храбрая мысль Носитъ вашъ умъ на дело Высоко плаваеши На дело въ буести Яко соколъ на ветрехъ ширяяся Хотя птицу въ буйстве одолети Суть бо у ваю железныи паворзы Подъ шеломы латиньскими Теми тресну земля И многи страны Хинова Литва Ятвязи Деремела И половцы сулицы свои повергоша А главы свои подклониша	Подъ тыи мечи харалужныи Нъ уже княже Игорю утръпе солнцу светъ А древо не бологомъ Листвие срони По Рси и по Суле Грады поделиша А Игорева храбраго полку Не кресити Донъ ти княже кличетъ И зовётъ князи на победу Олговичи храбрыи князи Доспели на брань Инъгварь и Всеволодъ И все три Мстиславличи Не худа гнезда шестокрылцы Не победными жребии Собе власти расхытисте Кое ваши златыи шеломы И сулицы ляцкии и щиты Загородите Полю ворота Своими острыми стрелами За землю Рускую За раны Игоревы Буего Святъславлича
На странице 13_1 *: 356* **От начала 13_1: 9345=49+12Л+14**	*На странице* 13_2 *:* 427. **На листе 13: 783** **От начала 13_1: 9772=(49+Б)+12Л+24,5=82*а*+14**

Уже бо Сула не течётъ Сребрёными струями Къ граду Переяславлю И Двина болотомъ течётъ Онымъ грознымъ полочаномъ Подъ кликомъ поганыхъ Единъ же Изяславъ Сынъ Васильковъ позвони Своими острыми мечи О шеломы литовския Притрепа славу Деду своему Всеславу И самъ подъ чьрлёными щиты На кроваве траве Притрепанъ литовскыми мечи Исходи юна кровь А той и рекъ Дружину твою княже Птичь крылы приоде А звери кровь полизаша	Не бысть ту брата Брячислава Ни другаго Всеволода Единъ же изрони Жемчужну душу Изъ храбра тела Чрезъ злато ожерелие Уныли голосы Пониче веселие Трубы трубятъ городеньскии Ярославе И вси внуце Всеславли Уже понизить стязи свои Вонзить свои мечи вережены Уже бо выскочисте Изъ дедней славы Вы бо своими крамолами Начасте наводити поганыя На землю Рускую На жизнь Всеславлю Которою бо беше насилие Отъ земли Половецкыи На седьмомъ веке Трояни Върже Всеславъ жребий О девицу себе любу *2-я точка достоверного нарушения порядка текста **после** второй катастрофы 15\16 вв.*
На странице 14_1: 348 **От начала: 10120=49+13Л+15,5**	*На странице* 14_2: 406. **На листе 14: 754** **От начала: 10526 = (49+Б)+13Л+5 = 88*а*+*54***

[78→ [62→ Утро же вонзи стрикусы Отвори врата Новуграду Расшибе славу Ярославу Скочи вълкомъ До Немиги съ Дудутокъ На Немизе снопы Стелютъ головами Молотятъ цепы харалужными На токе животъ кладутъ Веютъ душу отъ тела Немизе кровавы брезе Не бологомъ бяхуть посеяны Посеяны костьми Рускихъ сыновъ ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ **243** [Той клюками подпреся о кони И скочи къ граду Киеву И дотчеся стружиемъ Злата стола Киевьскаго 78] ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ **321** Всеславъ князь людемъ судяше Княземъ грады рядяше	А самъ въ ночь вълкомъ Рыскаше изъ Киева Дорыскаше до куръ Тьмутороканя Великому Хърсови вълкомъ Путь прерыскаше Тому въ Полотьске позвониша Заутренюю рано У святыя Софеи въ колоколы А онъ въ Киеве звонъ слыша **176** ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ [Скочи отъ нихъ Лютымъ зверемъ Въ пълночи изъ Белаграда Обесися сине мъгле 62] **238** ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~ Аще и веща душа Въ друзе теле Нъ часто беды страдаше Тому вещий Боянъ И пръвое припевку Смыслёный рече Ни хытру ни горазду Ни птицу горазду Суда Божиа не минути О стонати Руской земли Помянувше первую годину
На странице 15_1: 364 **От начала: 10890=49+14Л +12**	*На странице 15_2:* 409. **На листе 15: 773** **От начала: 11299 = (49+Б)+14Л+4,5=95*а*–6**
И первыхъ князей Того стараго Владимира Нельзе бе пригвоздити Къ горамъ Киевьскымъ Се бо ныне сташа Стязи Рюриковы А друзии Давыдовы Но розно ся имъ Хоботы пашутъ Копиа поютъ	О ветре ветрило Чему господине Насильно вееши Чему мечешь хиновьскыя стрелкы На своею нетрудною крылцю На моея лады вои Мало ли ти бяшеть горе Подъ облакы веяти Лелеючи корабли на Сине море Чему господине моё веселие По ковылию развея

На Дунае Ярославнынъ гласъ слышится Зегзицею незнаемо рано кычеть Полечу рече Зегзицею по Дунаеви Омочу бебрянъ рукавъ Въ Каяле реке Утру князю Кровавыя его раны На жестоцемъ его теле Ярославна рано плачетъ Въ Путивле на забрале аркучи	Ярославна рано плачеть Путивлю городу На забороле аркучи О Днепре Словутичу Ты пробилъ еси Каменные горы Сквозе землю половецкую Ты лелеялъ еси на себе Святославли насады До полку Кобякова Възлелей господине Мою ладу къ мне А быхъ не слала къ нему Слёзъ на море рано
На странице 16_1 : 345 **От начала: 11657=49+15Л+5,5**	*На странице 16_2:* 418. **На листе 16: 763** **От начала: 12062=(49+Б)+15Л–6**

Ярославна рано плачетъ Въ Путивле на забрале аркучи Светлое и тресветлое Сълнце Всемъ тёпло и красно еси Чему господине простре Горячую свою лучу На ладе вои Въ поле безводне Жаждею имъ луки съпряже Тугою имъ тулы затче Прысну море Полунощи Идутъ сморцы мъглами Игореви князю Богъ путь кажетъ Изъ земли Половецкой На землю Рускую Къ отню злату столу Погасоша вечеру зари Игорь спитъ Игорь бдитъ Игорь мыслию поля меритъ	Отъ Великаго Дону До Малаго Донца Комонь въ полуночи Овлуръ свисну за рекою Велитъ князю разумети Князю Игорю не быть Кликну стукну земля Въсшуме трава Вежи ся половецкие подвизаша А Игорь князь поскочи Горнастаемъ къ тростию И белымъ гоголемъ на воду Въвръжеся на борзъ комонь И скочи съ него Босымъ вълкомъ И потече къ лугу Донца И полете Соколомъ подъ мъглами Избивая гуси и лебеди Завтроку и обеду и ужине Коли Игорь соколомъ полете Тогда Влуръ вълкомъ потече Труся собою студёную росу Претъргоста бо Своя борзая комоня
На странице 17_1 : 351 **От начала: 12413=49+16Л–12**	*На странице 17_2:* 437. **На листе 17: 788** **От начала: 12850=49+Б+16Л+8,5=108*а*–2**

Донецъ рече Княже Игорю Не мало ти величия А Кончаку нелюбия А Руской земли веселия Игорь рече О Донче Не мало ти величия Лелеявшу князя на волнахъ Стлавшу ему зелёну траву На своихъ сребреныхъ брезехъ Одевавшу его Тёплыми мъглами Подъ сению зелену древу Стрежаще е гоголемъ на воде Чайцами на струяхъ Чьрнядьми на ветрехъ Не тако ли рече река Стугна Худу струю имея	Уношу князя Ростислава Затвори дне При тёмне березе Плачется мати Ростиславля По уноши князи Ростиславе Уныша цветы жалобою И древо съ тугою Къ земли преклонилося А не сорокы въстроскоташа На следу Игореве ездить Гзакъ съ Кончакомъ Тогда враны не граяхутъ Галицы помълкъша Сороки не троскоташа По лозию ползаша толко Дятлове тектомъ путь Къ реке кажутъ Соловии весёлыми песньми

Пожръши чужи ручьи И стругы ростре на кусту	Светъ поведаютъ Молвитъ Гзакъ Кончакови Аже соколъ къ гнезду летитъ Соколича ростреляеве Своими злачёными стрелами
На странице 18_1 : 340 **13190=49+17Л–9,5**	*На странице 18_2:* 420. **На листе 18: 760** **От начала: 13610 =(49+Б)+17Л –5**

Рече Кончакъ ко Гзе Аже соколъ къ гнезду летитъ А ве соколца опутаеве Красною девицею И рече Гзакъ къ Кончакови Аще его опутаеве Красною девицею Ни нама будетъ соколца Ни нама красны девице То почнутъ наю Птицы бити Въ поле половецкомъ Рекъ Боянъ и Ходына Святъславля песнетворца Стараго времени Ярославля Олгова коганя хоти Тяжко ти головы Кроме плечу Зло ти телу кроме головы Руской земли безъ Игоря	Солнце светится на небесе Игорь князь Въ Руской земли Девицы поютъ на Дунаи Вьются голосы Чрезъ море до Киева Игорь едетъ по Боричёву Къ святей Богородици Пирогощей Страны рады грады веселы Певше песнь Старымъ княземъ А потомъ молодымъ пети Слава Игорю Святъславличу Буй туру Всеволоду Владимиру Игоревичу Здравы князи и дружина Побарая за христьяны На поганыя полки Княземъ слава и дружине Аминь
На странице 19_1 : 335. **От начала: 13945=49+18Л–27**	*На странице 19_2 :* 335. **На листе 19** : 670 **От начала: 14280=18Л+3*а*=120*а***

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Слово о полку Игореве. Тексты. Перевод О. В. Творогова. М., Искусство, 1987.
2. *Гудзий Н. К.* Хрестоматия по древней русской литературе. Научный ред. проф. Н. И. Прокофьев. Изд. 8-е. М., Просвещение, 1973, 528 с.
3. Слово о полку Игореве и его время. Сборник статей под ред. Б.А. Рыбакова. М., Наука, 1985, 415 с.
4. *Брызгалин Г. И.* Чудесной тайны ключ. Издательство Института качеств. Волгоград, 1994, 92 с.
5. *Брызгалин Г. И.* Конфликт утраты авторства "Слова о полку Игореве". В сб. Теория конфликта и ее приложения; Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции. Часть I / Сост. Львович И. Я., Сербулов Ю. С. – АНОО ВИВТ; РосНОУ (ВФ). Воронеж: Научная книга, 2006. – С. 32–37, 286–303.
6. *Брызгалин Г. И.* Формальное обоснование порядка текста "Слова о полку Игореве". Известия Волгоградского государственного технического университета. Сб. науч. ст. № 1 (27) ВолгГТУ. Волгоград, 2007, С. 23–33. [Сер. Актуальные проблемы управления, вычисдительной техники и информатики в технических системах. Вып 1].
7. Слово о полку Игореве: Древнерусский текст и переводы. Сост. В.И. Стеллецкий. М., под ред. чл.-корр. АН СССР.
8. *Филина Ф. П.* Сов. Россия, 1981. 280 с.

УДК 658.012

Л. Н. Бутенко, Е. Н. Шамина, М. В. Бутенко

КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЕРТИЗЫ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Волгоградский государственный технический университет (butenko@vstu.ru)

В статье обсуждаются возможные подходы к разработке процедур оценки технических решений, защищаемых в качестве объектов интеллектуальной собственности, на основе современных концепций системологии и классиологии.

Ключевые слова: интеллектуальная собственность, экспертиза, новизна, изобретательский уровень.

L. N. Butenko, E. N. Chamina, M. V. Butenko

CONCEPTION OF AUTOMATIZATION ON EXAMINATION TECHNICAL DECISIONS

We present the new approach for expert estimation level of novelty based on new systems problem solving and classiologic principals.

Intellectual property, examination, novelty, inventive level.

Интенсификация декларируемого сегодня инновационного развития требует не только интенсификации создания новых решений, но и их тщательной проверки на эффективность, важным аспектом которой является охраноспособность. Является ли созданное техническое

решение охраноспособным устанавливается в процессе многоаспектной экспертизы, в котором выявляется объект и признаки его охраноспособности. Выделяются следующие объекты промышленной собственности:

изобретения: продукт (устройство, вещество, штамм микроорганизма, культура клеток растений и животных), способ, применение прежде известного продукта или способа по новому назначению если он новый, имеет изобретательский уровень и есть промышленно пригодным;

полезные модели: конструктивное выполнение устройства, которое есть новым и промышленно пригодным;

промышленные образцы: форма, рисунок или раскрашивание или их объединение, которое определяют внешний вид промышленного изделия и предназначенные для удовлетворения эстетичных и эргономических потребностей, если он новый и промышленно пригодный;

топографии интегральных микросхем: зафиксированное на материальном носителе пространственно-геометрическое размещение совокупности элементов интегральной микросхемы и соединений между ними;

По результатам экспертизы выдается тот или иной документ о защите интеллектуальной собственности. Интеллектуальная собственность представляет из себя правовой феномен, характеризующийся совокупностью прав на объективно выраженный результат интеллектуальной деятельности, интеллектуальный продукт, входящий в совокупность объектов авторского и изобретательского права. Экономика, основанная на знаниях, требует особого внимания к процессам защиты интеллектуальной собственности. В связи с этим автоматизированная поддержка процесса экспертизы является актуальной задачей.

Анализ процесса экспертизы на предмет защиты интеллектуальной собственности показал, что в нем имеются серьезные недостатки, в частности, производится анализ только конечного результата: вещества, устройства, способа и т. д. на предмет новизны, изобретательского уровня, технической применимости. Экспертизой, по нашему мнению, пропущены серьезные моменты, связанные со способами достижения изобретательского уровня и соответствия базовым тенденциям развития объектов этого класса. Дополнение экспертизы этими процедурами приведет к увеличению универсальности подходов к защите интеллектуальной собственности, их унификации, а также обеспечит импульс для развития самого процесса экспертизы в сторону большей обоснованности и доказательности. Кроме того, следует указать на появление обучающего элемента для человека, создающего защищаемый объект. Последнее становится диверсификацией процесса экспертизы.

Целью данной работы является обсуждение возможных подходов к разработке процедур оценки технических решений, защищаемых в качестве объектов интеллектуальной собственности, на основе современных концепций системологии и классиологии [1, 2].

Для этих целей необходимо выделить главные ключевые моменты, по которым происходит защита объектов интеллектуальной собственности, и заранее вводить в процесс создания технических решений процедуры, обеспечивающие достижение этих целей. Главным моментом мы считаем обеспечение новизны создаваемого технического решения.

В настоящее время новизна технического решения оценивается формально на основе сравнения дат приоритетов прототипа и аналогов данного решения. Изобретение является новым, если оно неизвестно из уровня техники. Уровень техники включает любые сведения, ставшие общедоступными в мире до даты приоритета изобретения [3].

Собственно оценка новизны предполагаемого изобретения выведена в пункт определения, так называемого, изобретательского уровня. Изобретение имеет изобретательский уровень, если оно для специалиста явным образом не следует из уровня техники.

Существует алгоритм проверки изобретательского уровня [4], как один из путей проверки изобретения на соответствие этому условию патентоспособности. В соответствии с этим алгоритмом изобретение признается соответствующим указанному требованию, если не выявлены решения, имеющие признаки, совпадающие с его отличительными признаками, или такие решения выявлены, но не подтверждена известность влияния отличительных признаков на указанный заявителем технический результат.

Проверка соблюдения указанных условий включает:

- определение наиболее близкого аналога (прототипа);
- выявление признаков, которыми заявленное изобретение, охарактеризованное в независимом пункте формулы, отличается от этого наиболее близкого аналога (отличительных признаков);
- выявление из уровня техники решений (т. е. не только аналогов), имеющих признаки, совпадающие с отличительными признаками

рассматриваемого изобретения, и анализ этих решений для установления известности влияния отличительных признаков на указанный заявителем технический результат.

Существует также более общий подход к определению новизны [5]. "Новое" отличается: содержанием и структурой, методами и условиями получения, характером производительных или потребительских свойств, сферами применения и масштабами функционирования, характером объективных и субъективных факторов возникновения и развития. Определения содержания и структуры новизны базируется на анализе модификаций соотношения основных факторов: характера решаемой задачи, метода и средства ее решения, особых условий поиска, эффективности и качества результата" [5].

Из приведенных определений следует, что определение "новизны" через признаки является слишком частным, с большой долей субъективизма и может приводить к ошибочным заключениям, а также потере подлежащих защите решений. Второе определение фактически является концептом понятия "новизны", который в свою очередь может быть описан экстенсионалом и интенсионалом. Последнее позволяет выйти на концептуальные основы компьютеризации процесса определения "новизны" технических решений с большей точностью и обоснованностью, нежели существующее в системе защиты интеллектуальной собственности.

Отметим также, что наибольшую новизну, как было показано нами ранее [6] вносят признаки, противоположные существующим. Кроме того, эти признаки, придают технической системе целостность, увеличивая показатели эффективности решения, поэтому они в обязательном порядке должны быть включены в идентифицирующую систему. Мы также считаем, что в отдельную группу при идентификации должны быть выделены признаки, характеризующие развитие создаваемой системы в соответствии с закономерностями системогенеза.

Общая схема экспертизы на наличие изобретательского уровня может выглядеть следующим образом:

- составляется описание техническое решения и его аналогов в соответствии с иерархией моделей, представленных в системологии [1];
- описания поступают в классифицирующую систему по [2], определяются классы по признакам исходной, порождающих, структурированных и метасистем;
- по мерам сходства классов устанавливается существенность или несущественность отличий;
- выдаются рекомендации по выдаче патента или свидетельства на полезную модель.

Для организации интеллектуальной поддержки экспертизы заявки предлагается использовать набор экспертных систем, содержащих базы знаний и машины вывода по отдельным этапам экспертизы, включающим:

- экспертизу на наличие формальных признаков;
- экспертизу по существу заявки с разделением на субэкспертизы по новизне; изобретательскому уровню; промышленной применимости.

Результаты всех экспертиз сводятся в подсистеме, обеспечивающей метаэкспертизу, результатом которой является заключение о типе объекта охраноспособности и о возможности признания решения охраноспособным.

Работа пользователя в данной системе позволит ему выявить отрицательные моменты в поданной заявке, что позволит ему принять обоснованные решения по изменению содержания заявки для управления уровнем притязаний при защите интеллектуальной собственности.

Отметим, что использование предлагаемого подхода может быть распространено для обеспечения защиты интеллектуальной собственности для других типов объектов вплоть до защиты идей.

Таким образом, нами предлагается новый подход к определению новизны технических решений для защиты объектов интеллектуальной собственности, базирующийся на использовании современных представлений, развиваемых в системологии, классиологии, квалиметрии, логике, семиотике и информационных технологиях, и позволяющих в дальнейшем увеличить эффективность защиты интеллектуальной собственности, обеспечив ей большую доказательность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Клир Д.* Системология. Автоматизация решения системных задач. М., Радио и связь.,1990 – С. 540.

2. *Субетто А. И.* Метаклассификация как наука о механизмах и закономерностях классифицирования. Санкт-Петербург-Москва. Труды Исс.Центра, 1994 г. – С. 254.

3. Патентный закон Российской Федерации № 3517-1 от 23.09.1992. – М.: Дом Советов России, 1992.

5. Правила составления, подачи и рассмотрения заявки на выдачу патента на изобретение: Приказ № 49 от 2 июля 1991 г. – М.: Госпатент СССР.

6. Техническое творчество: теория, методология, практика. Энциклопедический словарь-справочник. Информ-Система. М., 1995. – С. 408.

7. *Бутенко Дм. В., Бутенко Л. Н.* Системология задач концептуального проектирования. Открытое образование. Материалы XXXII Международной конференции Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе. Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, 2005 г., – С. 267.

УДК 681.31

Н. М. Емелин, В. М. Труханов, Е. А. Шведова

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Федеральное агентство по образованию (dtm@vstu.ru)

В статье рассматриваются методы управления процессом выполнения научно-технических работ по созданию изделий машиностроения.

Ключевые слова: методы управления процессом, НИР изделий машиностроения.

N. M. Emelin, V. M. Truhanov, E. A. Shvedova

MODEL OF MANAGEMENT OF PROCESS OF RESEARCH WORKS ON CREATION OF PRODUCTS OF MECHANICAL ENGINEERING

In article management methods by process of performance of scientific and technical works on creation of products of mechanical engineering are considered.

Management methods process, scientific work for creating mechanical engineering products.

К одному из этапов жизненного цикла создания изделий машиностроения относится проведение научно-исследовательских работ (НИР), направленных на изыскание научно-технических путей создания (модернизации) изделий машиностроения и исследование вопросов их эксплуатации.

Научно-исследовательская работа выполняется организацией – исполнителем в соответствии с техническим заданием заказчика и включает следующие фазы:

выбор направления исследования;

проведение теоретических и экспериментальных исследований;

обобщение и оценка результатов исследований.

Конечной реализацией результатов НИР является разработка проекта технического задания на техническое предложение (аванпроект). Приемка результатов НИР осуществляется заказчиком.

Укрупненная схема управления процессом выполнения НИР представлена на рис. 1[1].

Основанием для выполнения НИР является техническое задание, отражающее исходные требования к изделию (вектор характеристик $\overline{X}_{\text{тр}}$) и требования, заданные в техническом задании (вектор характеристик $\overline{X}_{\text{тз}}$).

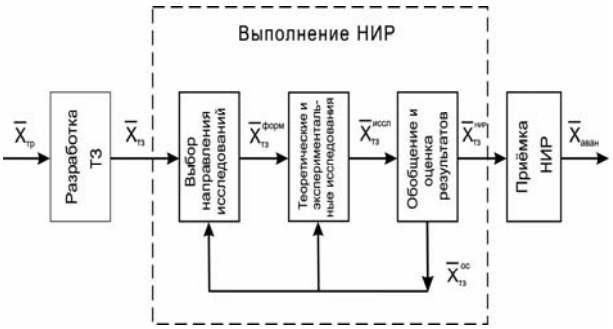


Рис. 1

Вектор $\overline{X}_{\text{тз}}$ поступает на вход первой фазы выполнения НИР – выбор направления исследования, в ходе которой проводится аналитический обзор по исследуемой проблеме, формирование и оценка возможных направлений исследований, выбор направления и его технико-экономическое обоснование, формализация процесса исследования.

На вход второй фазы, в ходе которой выполняются теоретические и экспериментальные исследования, поступает вектор формализованных характеристик $\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{форм}}$. После проведения исследований на третью фазу – обобщение и оценка результатов исследований, поступает вектор характеристик $\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{иссл}}$. По результатам оценки исследований вектор характеристик $\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{НИР}}$ может соответствовать характеристикам, заданным в техническом задании (вектору $\overline{X}_{\text{тз}}$), либо не соответствовать, что потребует доведения характеристик (вектор $\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{ос}}$) до требуемых значений путем проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований, а, может, и выбора дополнительных направлений исследований. В случае выполнения требований технического задания результаты НИР представляются на приемку комиссии и могут быть реализованы в аванпроекте (вектор $\overline{X}_{\text{аван}}$).

Для получения равенства $\overline{X}_{\text{тз}} = \overline{X}_{\text{тз}}^{\text{НИР}}$ процесс выполнения НИР должен быть организован идеально с требуемым алгоритмом (оператором организации $A_{\text{тр}}=A_{X_{\text{вх}}}^{X_{\text{вых}}}$). Оператором организации описывается свойство организации рассматриваемого процесса выполнения НИР со случайным вектором параметров $\overline{Y}$. Алгоритм

действий исполнителей НИР на каждой фазе устанавливает соответствие между входными и выходными характеристиками на всех фазах [2].

Тогда на выходе первой фазы – выбора направления исследования, имеем

$$\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{форм}}\left(T_{\text{выб}}+\tau_{\text{выб}}\right)=A_{\text{выб}}\left(\overline{Y}\right)\ \overline{X}_{\text{тз}}\left(T_{\text{выб}}\right), \quad (1)$$

где $T_{\text{выб}}$ – момент начала первой фазы;

$\tau_{\text{выб}}$ – продолжительность первой фазы;

$A_{\text{выб}}\left(\overline{Y}\right)$ – оператор, характеризующий действия исполнителей НИР.

Оператор организации на первой фазе запишется в виде

$$A_{\text{выб}}\left(\overline{Y}\right)=A_{\overline{X}_{\text{тз}}}^{\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{форм}}}\left(\overline{Y}\right). \quad (2)$$

На выходе второй фазы – теоретических и экспериментальных исследований, имеем:

$$\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{иссл}}\left(T_{\text{иссл}}+\tau_{\text{иссл}}\right)=A_{\text{иссл}}\left(\overline{Y}\right)\cdot\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{форм}}\left(T_{\text{иссл}}\right), \quad (3)$$

где $T_{\text{иссл}}$ – момент начала второй фазы;

$\tau_{\text{иссл}}$ – продолжительность второй фазы при операторе организации

$$A_{\text{иссл}}\left(\overline{Y}\right)=A_{\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{форм}}}^{\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{иссл}}}\left(\overline{Y}\right). \quad (4)$$

На выходе третьей фазы – обобщения и оценки результатов исследований, имеем

$$\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{НИР}}\left(T_{\text{обоб}}+\tau_{\text{обоб}}\right)=A_{\text{обоб}}\left(\overline{Y}\right)\ \overline{X}_{\text{тз}}^{\text{иссл}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{обоб}}$ – момент начала третьей фазы;

$\tau_{\text{обоб}}$ – продолжительность третьей фазы при операторе организации

$$A_{\text{обоб}}=A_{\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{иссл}}}^{\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{НИР}}}\left(\overline{Y}\right). \quad (6)$$

Результирующий оператор $A_{\text{НИР}}$ выполнения НИР, объединяющий все ее фазы с учетом обратной связи (оператор $A_{\text{НИР}}^{\text{ос}}$), можно записать следующим образом:

$$A_{\text{НИР}}=A_{\overline{X}_{\text{тз}}}^{\overline{X}_{\text{тз}}^{\text{НИР}}}\left(\overline{Y}\right)=$$

$$=A\left\{A_{\text{выб}}\left(\overline{Y}\right)A_{\text{иссл}}\left(\overline{Y}\right)\cdot A_{\text{обоб}}\left(\overline{Y}\right);A_{\text{НИР}}^{\text{ос}}\right\}. \quad (7)$$

Наличие обратной связи позволяет принимать решения как о проведении дополнительных исследований для обеспечения выполнения характеристик исследования для создания изделия машиностроения, заданных в техническом задании, так и о повышении квалификации исполнителей НИР, в том числе о привлечении к выполнению НИР дополнительных высококвалифицированных специалистов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Емелин Н. М.* Отработка систем технического обслуживания летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1995. – 128 с.

2. *Сафонов И. В.* О формализованном надежностном анализе алгоритмических процессов. – Управляемые системы и машины, 1973, № 6.

УДК 625.1:681.3.06 + 06

С. М. Ковалев, А. Е. Хатламаджиян, А. И. Долгий

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПРЕПРОЦЕССИНГ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ПОИСКА ПАТТЕРНОВ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ[1]

Ростовский государственный университет путей сообщения (agop@chaltyr.ru)

В данной статье предлагается интеллектуальный подход к обработке георадиолокационных данных на основе нейросетевой модели поиска паттернов временных рядов.

Ключевые слова: георадиолокационные данные, паттерны временных рядов, нейросетевая модель.

S. M. Kovalev, A. E. Hatlamadzhijan, A. I. Dolgij

INTELLECTUAL PREPROCESSING OF THE GEORADAR-TRACKING DATA ON A BASIS NEURONET MODELS OF SEARCH OF PATTERNS OF TIME NUMBERS

In given article the intellectual approach to processing of the georadar-tracking data on a basis neuronet is offered to model of search of patterns of time numbers.

Georadar-tracking data, patterns of time numbers, neuronet model.

В в е д е н и е. В настоящее время ключевым направлением в развитии современных информационных технологий, используемых на железнодорожном транспорте, является интеллектуализация. Процессы интеллектуализации коснулись, практически всех сфер хозяйственной деятельности, и в частности, мониторинга состояния ж. д. инфраструктуры. Например, в интегрированных системах георадиолокационного мониторинга состояния земляного полотна ж. д. пути широко применяются нечетко-логические модели, являющиеся эффективным инструментом моделирования когнитивных способностей эксперта и нейронные сети, являющиеся идеальными аппроксиматорами многомерных данных для извлечения первичных параметров слабо-формализованных процессов.

[1] Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 07-01-00075, № 07-07-00010).

В данной статье предлагается интеллектуальный подход к обработке георадиолокационных данных на основе нейросетевой модели поиска паттернов временных рядов (ВР). Необходимость в разработке такого подхода возникла при решении обратной задачи георадиолокации, а именно, автоматического восстановления структуры зондируемой среды по данным георадара [1].

В качестве объекта анализа рассматривается волновая картина (радарограмма) земляного полотна, полученная при георадиолокационной съемке вдоль ж. д. пути (рис. 1). Она представляет собой последовательность отраженных от зондируемой среды георадиолокационных сигналов.

Для удаления шумов и группировки видимых линий, применяется гауссовское сглаживание, позволяющее при скачкообразном изменении частоты, характерном для необработанных георадиолокационных данных, получить "гладкие переходы" в огибающей трассы [2].

При отражении зондирующего сигнала от границ раздела сред, имеющих различные электрофизические свойства, наблюдается явление кратного отражения. Это явление обусловлено тем, что помимо первоначального отклика от границы слоя, зондирующие импульсы, посылаемые георадаром, многократно отражаются от других границ разделов слоев и поступают на приемную антенну уже с постепенной потерей энергии. В результате на волновой картине (рис. 1) появляются линии кратного отражения, повторяющие контуры границ между слоями.

Идея подхода. Для выделения искомых границ можно применять метод детектирования первоначальных откликов [2, 3], который основан на разделении трассы радарограммы на зоны монотонного затухания. Однако этот метод имеет существенный недостаток. Из-за шумовых помех и наличия в среде множества флуктуаций некоторые первоначальные отклики отраженного сигнала теряют свою интенсивность и могут слиться с зоной монотонного затухания предыдущего отклика. При этом теряется значительная часть полезной информации.

Для решения этой проблемы предлагается использовать подход, основанный на применении априорных (экспертных) и апостериорных (полученных на основе автоматического извлечения) знаний с привлечением аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС) [4].

Априорные знания в разработанной модели используются дважды. В первый раз – для структуризации исходного ВР, представляющего отраженный сигнал, в модифицированный ВР путем его аппроксимации образами стандартных функций – шейпов, допускающих простую визуальную интерпретацию, например, "линейным трендом". Во второй раз – при формировании обучающей выборки для ИНС, когда эксперт задает паттерны ВР, выделяя фрагменты трасс радарограммы, соответствующие определению "информативный всплеск".

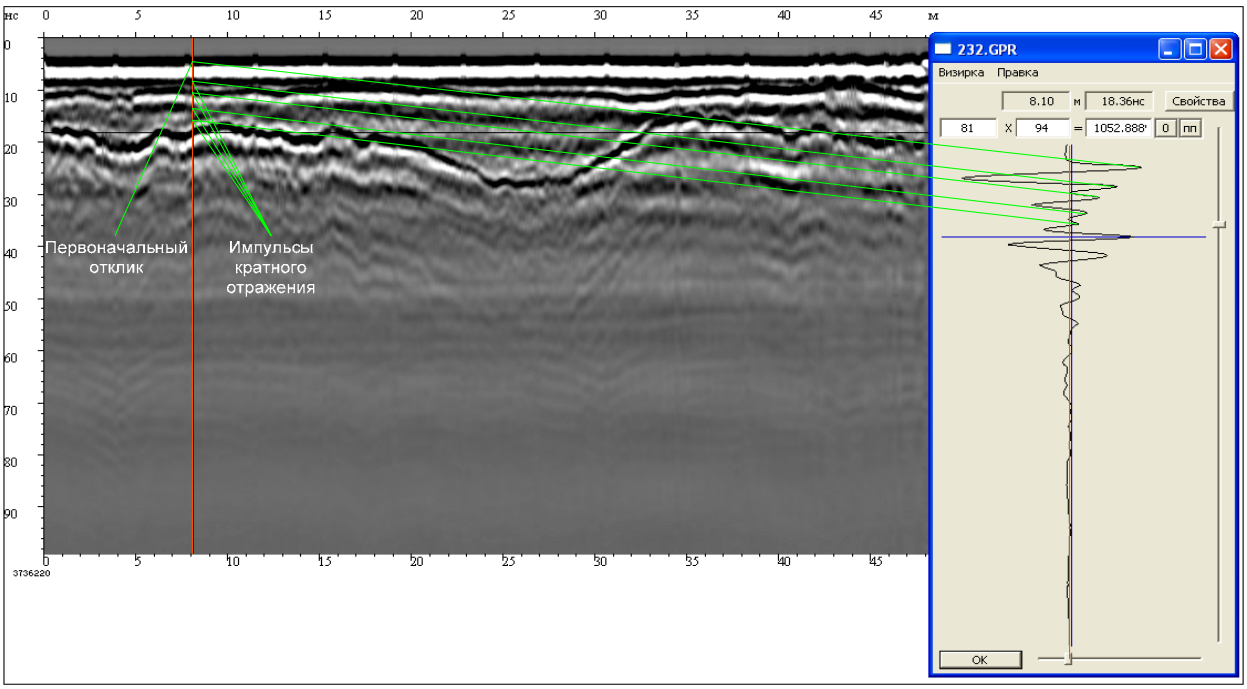


Рис. 1. Радарограмма

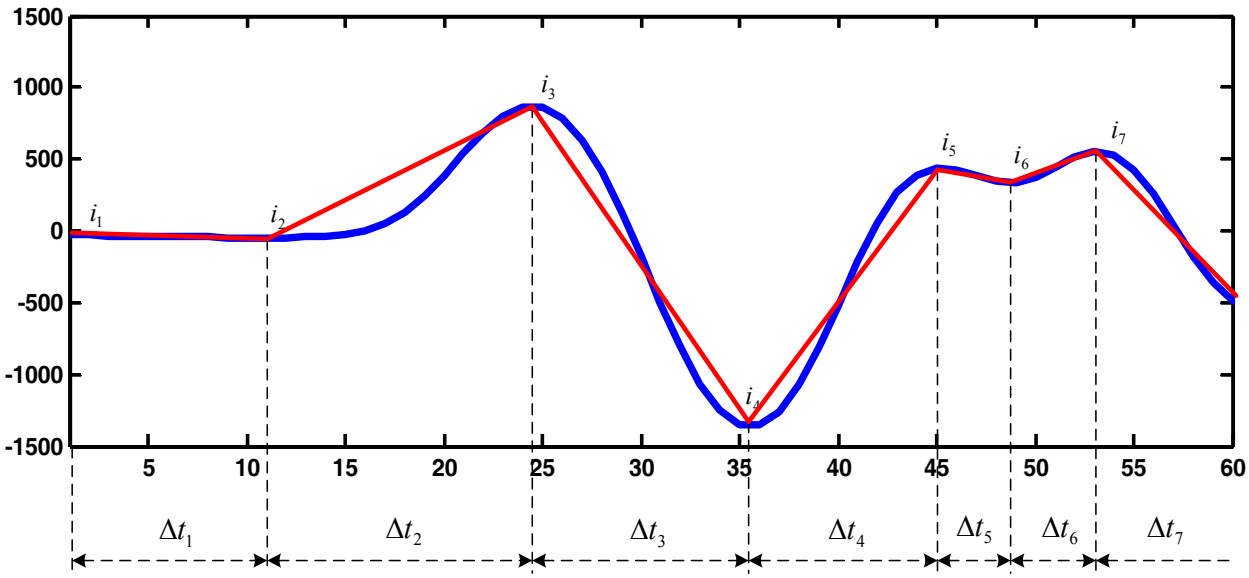


Рис. 2. Формирование аппроксимирующего ВР (фрагмент)

В качестве модели апостериорных знаний используется ИНС прямого распространения. ИНС способна автоматически извлекать новые знания о характере поведения ВР в окрестностях информативных отсчетов, принимая во внимание, что эксперт ими не обладает или не может их однозначно формализовать.

Модель препроцессинга. В качестве входов ИНС используются трассы радарограмм. Для снижения размерности входных векторов предлагается метод формирования обучающей выборки, основанный на их особом представлении.

Предлагается аппроксимировать трассы радарограммы прямыми отрезками, представленными парами ВР:

$$I = \{i_1, i_2, ..., i_n\},$$

$$T = \{\Delta t_1, \Delta t_2, ..., \Delta t_n\},$$

где i – значение интенсивности, t – интервал времени между соседними экстремумами, n – число локальных экстремумов кривой интенсивности на заданном интервале измерения.

После раздельного нормирования и масштабирования оба ряда объединяются в один ряд

$$S = \{i_1, \Delta t_1, i_2, \Delta t_2, ..., i_n, \Delta t_n\},$$

который используется в дальнейшем для представления трасс радарограммы.

Обучающая выборка формируется методом скользящего окна, которое перемещается по локальным максимумам каждой трассы радарограммы (рис. 3).

Таким образом, значения входного вектора определяются следующим фрагментом ВР

$$S^* = \{i_{j-n}, \Delta t_{j-n}, ..., i_{j-1}, \Delta t_{j-1}, i_j, \Delta t_j, i_{j+1}, \Delta t_{j+1}, ..., i_{j+n}, \Delta t_{j+n}\},$$

где j – индекс текущего локального максимума (центр окна), n – размер скользящего окна.

Согласно идее предлагаемого подхода значения элементов целевого вектора определяются экспертом, в зависимости от того считает ли он текущий локальный максимум информативным (логическая "1") или нет (логический "0"). Размер скользящего окна подбирается эмпирически и зависит от достижения требуемой погрешности обучения ИНС.

Обученная на подготовленном множестве ИНС выступает в роли интеллектуального фильтра волновой картины, выделяющего информативные локальные максимумы, принадлежащие линиям синфазности соответствующим границам раздела сред.

Вычислительный эксперимент. Для формирования обучающей выборки была разработана программа, функционирующая в среде "MATLAB".

В рабочем окне программы отображаются заранее подготовленная комбинация фрагментов различных радарограмм, и текущая трасса обучающей выборки в непреобразованном виде. На текущей трассе выделяется окно, из которого будет получен входной вектор для текущего примера обучающей выборки. Выводится диалоговое окно, в котором пользователю задается вопрос об информативности текущего отклика. Ответ пользователя используется как целевое значение для текущего примера. После рассмотрения текущей трассы скользящее окно перемещается на следующую трассу и т. д.

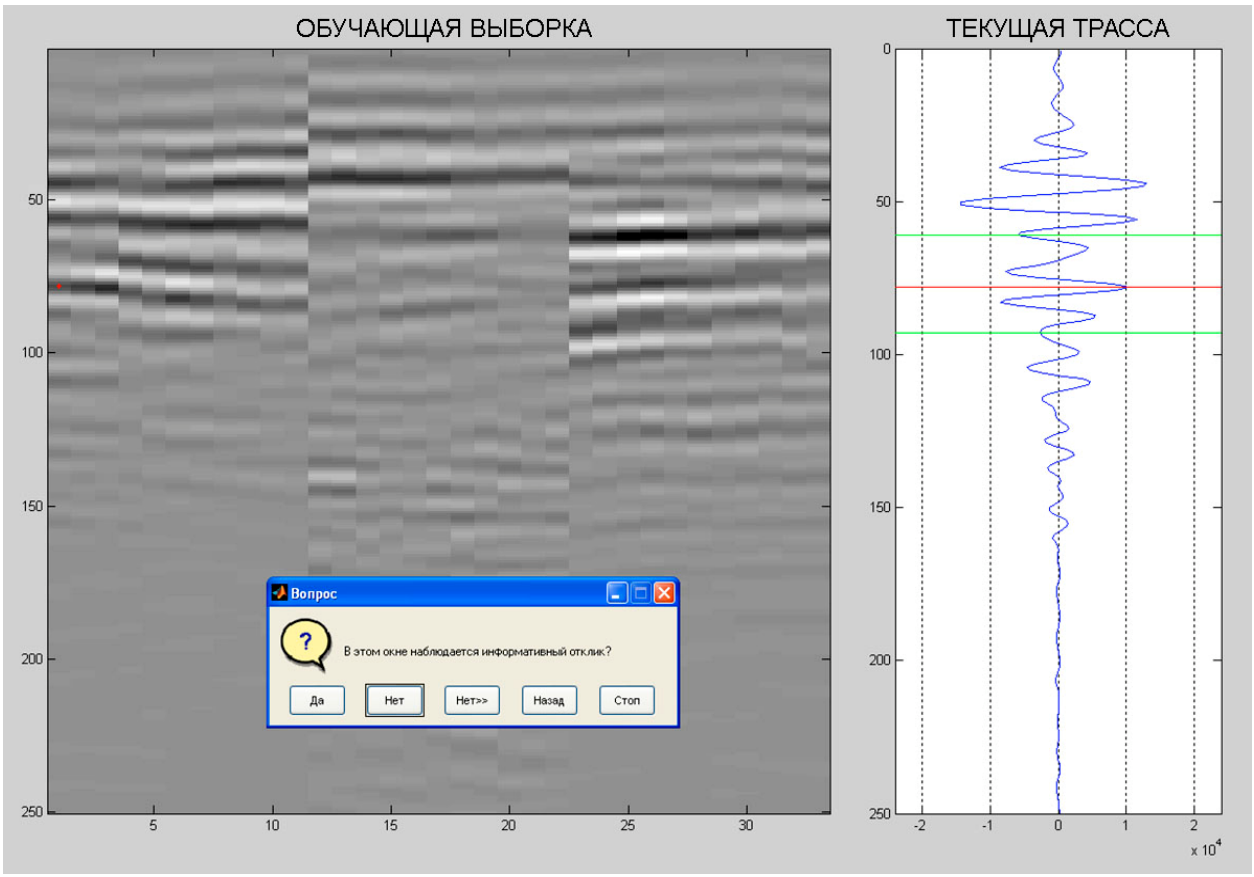


Рис. 3. Формирование обучающей выборки

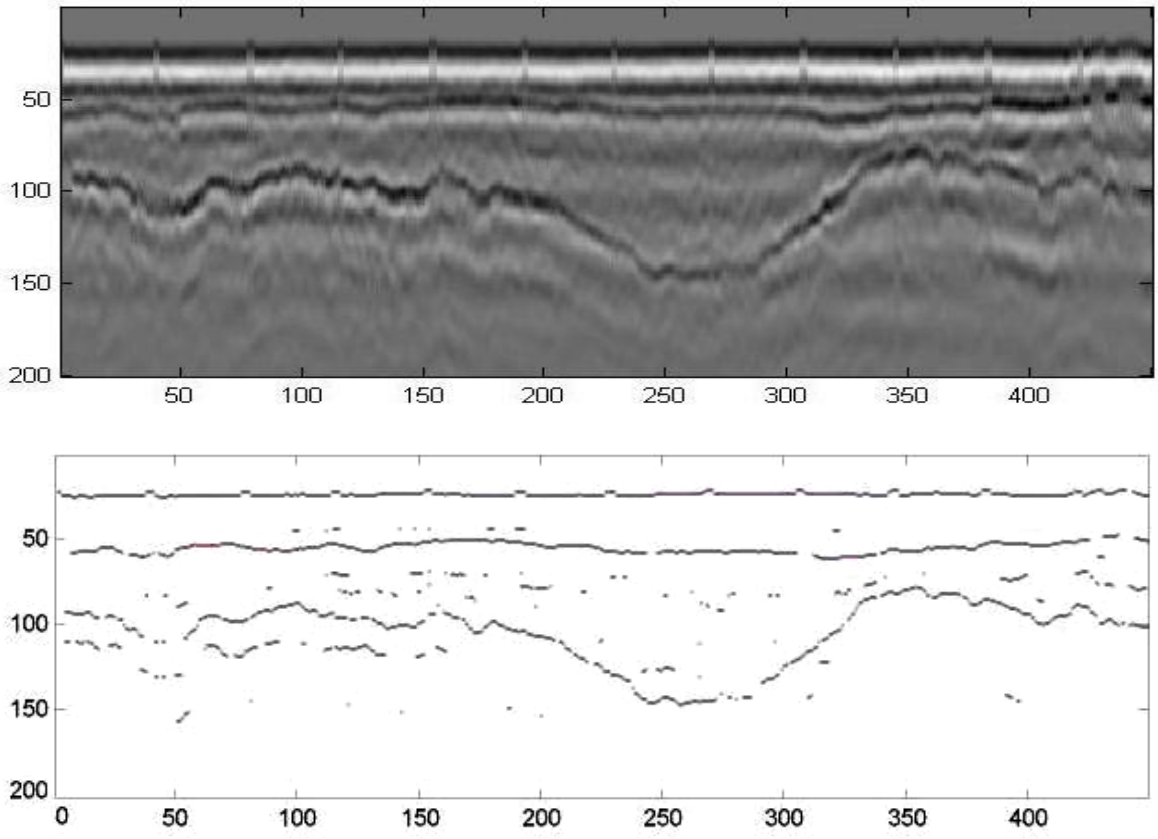


Рис. 4. Результат нейросетевого препроцессинга

При применении предлагаемого метода сжатия трасс радарограмм сокращение размерности входного вектора составило примерно 7–10 раз.

Количество нейронов в скрытом слое ИНС подбиралось эвристически и составило 5 нейронов. В качестве метода обучения был применен метод Левенберга-Марквардта.

Результат нейросетевого препроцессинга выводится в виде бинарного изображения (рис. 4), на котором можно выделить совокупности ИЛЭ, определяющие границы разделения сред с разными электрофизическими параметрами.

Выводы. В статье предложен новый интеллектуальный метод препроцессинга георадиолокационных данных на основе нейросетевой модели поиска паттернов ВР с применением априорных и апостериорных знаний. Представление трасс радарограммы в классе прямых отрезков с последующим преобразованием во ВР позволяет существенно сократить размерность данных на входе ИНС. Очевидно, что предлагаемая модель препроцессинга достаточно эффективна для последующей сегментации волновой картины [1, 3, 5].

Вычислительный эксперимент показал эффективность разработанного метода для применения в составе гибридных моделей анализа и обработки георадиолокационных данных в геодиагностических системах на ж. д. транспорте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Долгий А. И, Хатламаджиян А. Е.* Модель локализации и определения характера деформаций в горизонтально-слоистой среде земляного полотна на основе искусственной нейронной сети и преобразования Хафа / Известия ТРТУ. Тематический выпуск "Актуальные проблемы производства и потребления электроэнергии". – Таганрог: Изд-во ТРТУ, № 15, 2006 г.

2. *Дегтярева А., Вежневец В.* Преобразование Хафа // http://ict.edu.ru/ft/002407/num1degt.pdf.

3. *Долгий А. И., Ковалев С. М., Хатламаджиян А. Е.* Модель локализации неоднородностей в георадиолокационных данных на основе нейросетей Кохонена // Известия ТРТУ. Тематический выпуск "Интеллектуальные САПР". Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006, № 8. – С. 232.

4. *Уоссерман Ф.* Нейрокомпьютерная техника / Пер. на русский язык Ю. А. Зуев, В. А. Точенов. – М.: Мир, 1992.

5. *Долгий А. И., Хатламаджиян А. Е.* Гибридная модель интерпретации деформаций в балластной призме и основной площадке земляного полотна на основе целевого преобразования Хафа и нейронной сети Кохонена // Тезисы докладов третьей международной научно-практической конференции "Инженерная и рудная геофизика – 2007". – Геленджик, 2007. С. 139–140.

УДК 621.396.96

С. В. Ливинский, И. П. Рыбалко, О. Ф. Чепков

МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ В УГЛОМЕРНЫХ КАНАЛАХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ростовский военный институт ракетных войск (livinsky@inbox.ru)

Разработан математический аппарат, обеспечивающий построение алгоритма компенсации систематических ошибок измерений координат местоположения летательных аппаратов в системах пассивной локации.

Ключевые слова: систематическая ошибка, компенсация, пеленгатор.

S. V. Livinsky, I. P. Rybalko, O. F. Chepkov

METHOD OF COMPENSATION SYSTEMATIC ERRORS IN THE MEASUREMENT CHANNELS THAT MEASURE THE ANGLES OF RADAR SYSTEMS

The mathematical apparatus, which provides compensation for the construction of algorithm biases positional aircraft systems, passive location.

Systematic error, compensation, direction finder.

Рассматривая многопозиционные радиолокационные системы, мы будем ориентироваться на ошибки измерений трех видов [1]: систематические, регулярные и грубые.

Появление регулярной ошибки связано с воздействием факторов, имеющих флуктуационный характер. Она возникает в результате прохождения некоторого случайного стационарного возмущения через измерительную систему.

Грубая ошибка связана с резким нарушением условий работы пеленгаторов многопозиционной радиолокационной системы при отдельных измерениях.

Появление систематической ошибки связано с наличием неучтенных постоянных или медленно меняющихся факторов, характеризующих условия проведения измерений пеленгаторами многопозиционной радиолокационной системы.

Ухудшение точности определения параметров движения летательного аппарата (ЛА), обусловленное регулярными и грубыми ошибками, можно компенсировать путем сглаживания – за счет применения эффективных методов фильтрации. Вопрос же компенсации систематических ошибок остается до настоящего времени недостаточно проработанным.

Наиболее конструктивный путь решения задачи компенсации систематических ошибок измерений пеленгаторов – разработка математического обеспечения, ориентированного на декомпозицию и распараллеливание вычислительных процедур на основе имеющейся схемотехнической базы. При этом необходимо в полной мере учитывать априорные данные о характере движения ЛА.

Рассмотрим возможность компенсации систематических ошибок применительно к двухканальным пеленгаторам многопозиционной системы в рамках известного угломерно-плоскостного метода [2].

Пусть движение ЛА$_n$ $\left(n \in \overline{1,N}\right)$ относительно пеленгатора Π_k $\left(k \in \overline{1,M}\right)$ является плоскостным, при этом ошибка $S_{\alpha_{kn}} = S_{\alpha_{kn}}(t)$ – произвольная достаточно гладкая функция времени, а $S_{\beta_{kn}} \equiv \text{const}$. Считаем также, что вектор $\lambda_k = \left[\lambda_{k1}, \lambda_{k2}, \lambda_{k3}\right]^T$, линия визирования ЛА$_n$ и его вектор скорости V_{nk} лежат в одной плоскости на интервале наблюдения $[0,T]$.

Как следует из геометрии задачи (см. рис.) плоскостному движению ЛА$_n$ соответствует следующий инвариант (первый интеграл):

$$\theta_{kn} = \operatorname{arctg}\left\{\frac{\operatorname{tg}\beta_{kn}}{\left|\sin\left(\alpha_{kn}+\mu_{kn}\right)\right|}\right\} = \operatorname{arctg}\left\{\frac{\operatorname{tg}\left(\hat{\beta}_{kn}-S_{\beta kn}\right)}{\left|\sin\left(\alpha_{kn}+\mu_{kn}\right)\right|}\right\}, \quad (1)$$

где $d\theta_{kn}/dt \equiv 0$, $d\mu_{kn}/dt \equiv 0 \;\; \forall \;\; t \in [0,T]$.

Из инвариантности величины θ_{kn} во времени следует, что

$$\frac{\operatorname{tg}\left(\hat{\beta}_{kn,i}-S_{\beta kn}\right)}{\left|\sin\left(\alpha_{kn,i}+\mu_{kn}\right)\right|} = \frac{\operatorname{tg}\left(\hat{\beta}_{kn,j}-S_{\beta kn}\right)}{\left|\sin\left(\alpha_{kn,j}+\mu_{kn}\right)\right|}, \quad (2)$$

где *i, j* – индексы, характеризующие номера замеров угловых координат.

Непосредственно из (2) после несложных преобразований получаем

$$\mu_{kn} = \operatorname{arctg}\left\{\frac{\operatorname{tg}\left(\hat{\beta}_{kn,j}-S_{\beta kn}\right)\sin\alpha_{kn,i} - \operatorname{tg}\left(\hat{\beta}_{kn,i}-S_{\beta kn}\right)\sin\alpha_{kn,j}}{\operatorname{tg}\left(\hat{\beta}_{kn,i}-S_{\beta kn}\right)\cos\alpha_{kn,j} - \operatorname{tg}\left(\hat{\beta}_{kn,j}-S_{\beta kn}\right)\cos\alpha_{kn,i}}\right\}. \quad (3)$$

Формулы (1) – (3) показывают, что развиваемый угломерно-плоскостной метод позволяет воспользоваться результатами работы [3], посвященной компенсации постоянной угломестной ошибки $S_{\beta kn}$ в двухканальном пеленгаторе. Согласно [3] решение данной задачи может быть сведено к нахождению корней соответствующего кубического уравнения

$$\sum_{r=0}^{3} d_{knr}\operatorname{tg}^r S_{\beta kn} = 0, \quad (4)$$

где $$d_{knr} = \left\langle \chi_{knr}, q_{knr} \right\rangle = \sum_{p=1}^{3} \chi_{knrp} q_{knrp}, \quad (5)$$

$$\begin{cases} \chi_{kn0} = \chi_{kn0}(i,j,l) = \left\{tg\hat{\beta}_{kn,i}, tg\hat{\beta}_{kn,j}, tg\hat{\beta}_{kn,i}\right\}, \\ \chi_{kn1} = \chi_{kn1}(i,j,l) = \left\{1 - tg\hat{\beta}_{kn,i}\left(tg\hat{\beta}_{kn,j} + tg\hat{\beta}_{kn,j}\right),\right. \\ \left. 1 - tg\hat{\beta}_{kn,j}\left(tg\hat{\beta}_{kn,i} + tg\hat{\beta}_{kn,l}\right), 1 - tg\hat{\beta}_{kn,i}\left(tg\hat{\beta}_{kn,j} + tg\hat{\beta}_{kn,l}\right)\right\}, \\ \chi_{kn2} = \left\{tg\hat{\beta}_{kn,i} + tg\hat{\beta}_{kn,j} - \delta_{kn,ijl}, tg\hat{\beta}_{kn,j} + tg\hat{\beta}_{kn,l} - \delta_{kn,ijl}, tg\hat{\beta}_{kn,i} + tg\hat{\beta}_{kn,l} - \delta_{kn,ijl}\right\}, \\ \chi_{kn3} = \left\{tg\hat{\beta}_{kn,i}tg\hat{\beta}_{kn,j}, tg\hat{\beta}_{kn,i}tg\hat{\beta}_{kn,l}, tg\hat{\beta}_{kn,j}tg\hat{\beta}_{kn,l}\right\}, \\ \delta_{kn,ijl} = \delta_{kn}(i,j,l) = tg\hat{\beta}_{kn,i}tg\hat{\beta}_{kn,j}tg\hat{\beta}_{kn,l}, \end{cases} \quad (6)$$

$$q_{knr} = q_{knr}(i,j,l) = \left\{\sin\left(\alpha_{kn,i}-\alpha_{kn,j}\right), \sin\left(\alpha_{kn,l}-\alpha_{kn,i}\right), \sin\left(\alpha_{kn,j}-\alpha_{kn,l}\right)\right\} = \left\{\sin\left(\hat{\alpha}_{kn,i}-\hat{\alpha}_{kn,j}\right), \sin\left(\hat{\alpha}_{kn,l}-\hat{\alpha}_{kn,i}\right), \sin\left(\hat{\alpha}_{kn,j}-\hat{\alpha}_{kn,l}\right)\right\}, \quad (7)$$

i, j, l – номера замеров угловых координат.

Непосредственно из (6) следует, что алгоритм вычисления $S_{\beta kn}$, основанный на решении уравнения (4), оказывается инвариантным по отношению к $S_{\alpha kn}$, то есть не зависит от наличия и величины данной ошибки $S_{\alpha kn}$ в измерениях азимута $\hat{\alpha}_{kn} = \alpha_{kn} + S_{\alpha kn}$. Очевидно, что внутреннее свойство компенсации данной ошибки в алгоритме (4) – (7) является его несомненным достоинством. Это позволяет расширить сферу возможного применения развиваемого метода оценивания постоянной систематической ошибки измерений $S_{\beta kn}$.

Несложный анализ геометрии задачи [2, 3] показывает, что для уравнения (4) имеются один действительный и два комплексных корня. Для нахождения действительного корня запишем уравнение (4) в канонической форме

$$v_{kn}^3 + 3\tilde{Q}_{kn,1}v_{kn} + 2\tilde{Q}_{kn,0} = 0, \quad (8)$$

где

$$2\tilde{Q}_{kn,0} = \frac{2Q_{kn,2}^3}{27Q_{kn,3}^3} - \frac{Q_{kn,2}Q_{kn,1}}{3Q_{kn,3}^2} + \frac{Q_{kn,0}}{Q_{kn,3}}, \quad (9)$$

$$3\tilde{Q}_{kn,1} = \frac{3Q_{kn,3}Q_{kn,1} - Q_{kn,2}^2}{3Q_{kn,3}^2}, \quad (10)$$

$$v_{kn} = tgS_{\beta_{kn}} + \frac{Q_{kn,2}}{3Q_{kn,3}}. \quad (11)$$

В зависимости от знаков коэффициента $\tilde{Q}_{kn,0}$ и дискриминанта $\tilde{D}_{kn} = \tilde{Q}_{kn,0}^2 + \tilde{Q}_{kn,1}^3$ будем

различать следующие возможные в данной задаче ситуации. Если $\tilde{Q}_{kn,1} < 0$ и $\tilde{D}_{kn} > 0$, то искомый действительный корень уравнения (7) с учетом (8), (9) и (10) находится по формуле

$$S_{\beta kn} = arctg\left\{-2\tilde{\varphi}_{kn} ch\frac{\tilde{\gamma}_{kn}}{3} + \tilde{\rho}_{kn}\right\}, \qquad (12)$$

где $ch\tilde{\gamma}_{kn} = \left(e^{\tilde{\gamma}_{kn}} + e^{-\tilde{\gamma}_{kn}}\right)/2 = \tilde{Q}_{kn,0}/\tilde{\varphi}_{kn}^3$,

$$\tilde{\gamma}_{kn} = arcch\left(\tilde{Q}_{kn,0}/\tilde{\varphi}_{kn}^3\right),$$

$$\tilde{\varphi}_{kn} = \pm\left|\tilde{Q}_{kn,1}\right|^{1/2},\ \tilde{\rho}_{kn} = -2Q_{kn,2}/\left(3Q_{kn,3}\right).$$

Если же $\tilde{Q}_{kn,1} > 0$, $\tilde{D}_{kn} > 0$, то

$$S_{\beta kn} = arctg\left\{-2\tilde{\varphi}_{kn} sh\frac{\tilde{\gamma}_{kn}}{3} + \tilde{\rho}_{kn}\right\}, \qquad (13)$$

где $sh\tilde{\gamma}_{kn} = \left(e^{\tilde{\gamma}_{kn}} + e^{-\tilde{\gamma}_{kn}}\right)/2 = \tilde{Q}_{kn,0}/\tilde{\varphi}_{kn}^3$,

$$\tilde{\gamma}_{kn} = arcsh\left(\tilde{Q}_{kn,0}/\tilde{\varphi}_{kn}^3\right),$$

$$\tilde{\varphi}_{kn} = \pm\left|\tilde{Q}_{kn,1}\right|^{1/2},\ \tilde{\rho}_{kn} = -2Q_{kn,2}/\left(3Q_{kn,3}\right).$$

Случай, когда $\tilde{Q}_{kn,1} < 0$ и $\tilde{D}_{kn} < 0$, не возникает при выполнении нежестких ограничений задачи пассивной локации:

$$\begin{cases}\alpha_{kn} + \mu_{kn} \neq \pi q, \left|\alpha_{kn,i} - \alpha_{kn,j}\right| \neq \pi q, \left|\alpha_{kn,j} - \alpha_{kn,l}\right| \neq \pi q, q \in \{0,1,2\}, \\ \beta_{kn} \neq \left(\frac{\pi}{2}\right)q, q \in \{0,1\}.\end{cases}$$

Очевидно, что при малых значениях $S_{\beta kn}$ в зависимости от требуемой точности оценивания можно пренебречь членами высшего порядка малости $O\left(tg^q S_{\beta kn}\right), q \in \{2,3\}$. Пренебрегая ими в (8), приходим к новому уравнению для $S_{\beta kn}$ в линейном приближении, решение которого имеет вид

$$S_{\beta kn} = -arctg\left\{\frac{\tau_{kn}}{\Delta_{kn}}\right\}, \qquad (14)$$

где $\tau_{kn} = \rangle q_{knr}, \chi_{kn0}\langle$, $\Delta_{kn} = \rangle q_{knr}, \chi_{kn1}\langle$.

Анализ показывает, что развитый алгоритм компенсации систематических ошибок измерений радиолокационных систем позволяет существенно упростить процедуру обработки данных и сократив, примерно в 1,5–2 раза, объем вычислительных затрат на реализацию процедур оценивания параметров траектории ЛА по сравнению с существующими подходами.

Полученные результаты хорошо согласуются с известным подходом к коррекции угломерных каналов, рассмотренным в работах [1, 3]. Данный подход вытекает, как частный случай, из алгоритма (4) – (7), если ограничиться рассмотрением одного фиксированного пеленгатора, а вектор $\lambda_k = \left[\lambda_{k1}, \lambda_{k2}, \lambda_{k3}\right]^T$ совпадает с любым вектором $\lambda_{kn} = \left[\lambda_{kn1}, \lambda_{kn2}, \lambda_{kn3}\right]^T$, который связан с пеленгатором Π_k и лежит в плоскости, которой принадлежат вектор скорости V_{kn} лоцируемого $ЛА_n$ и линия визирования $\{\alpha_{kn}, \beta_{kn}\}$. То есть, инварианты угломерно-плоскостного метода позволяют дать комплексное решение целевых задач, таких как оптимальное оценивание параметров движения ЛА, отождествление потока ЛА и коррекция угломерных каналов пеленгаторов.

Теперь покажем, каким образом в рамках угломерно-плоскостного метода можно полностью или частично исключить влияние систематических ошибок измерений на оценивание координат ЛА в многопозиционных радиолокационных системах.

Пусть в некоторой фиксированный момент времени $t \in [0,T]$ истинная и ложная (обусловленная наличием $S_{\alpha kn}$ и $S_{\beta kn}$) линии визирования находятся вместе с вектором λ_k в одной и той же плоскости $P_k C_n C'_{kn}$. Очевидно, что этого можно добиться с той или иной степенью точности (например, в терминах "ε – плоскости" [3]), если учитывать априорную и апостериорную информацию об измеряемых пеленгах, также путем соответствующего выбора λ_k.

Несложно убедиться, что при подстановке в известную формулу инварианта задачи пассивной локации значений измеренных пеленгов $\hat{\alpha} = \alpha_{kn} + S_{\alpha kn}$ и $\hat{\beta} = \beta_{kn} + S_{\beta kn}$, с учетом сделанного предположения, будут выполняться следующие равенства

$$\begin{aligned}\mathrm{tg}\hat{\theta}_{kn} &= \\ &= \left\{\frac{\mathrm{tg}\hat{\beta}_{kn}}{\left|\sin\left[\hat{\alpha}_{kn} - \mathrm{arctg}\left(\lambda_{k2}/\lambda_{k1}\right)\right]\right|} - \frac{\lambda_{k3}}{\sqrt{\lambda_{k1}^2 + \lambda_{k2}^2}}\left|\mathrm{ctg}\left[\hat{\alpha}_{kn} - \mathrm{arctg}\left(\lambda_{k2}/\lambda_{k1}\right)\right]\right|\right\} = \\ &= \left\{\frac{\mathrm{tg}\beta_{kn}}{\left|\sin\left[\alpha_{kn} - \mathrm{arctg}\left(\lambda_{k2}/\lambda_{k1}\right)\right]\right|} - \frac{\lambda_{k3}}{\sqrt{\lambda_{k1}^2 + \lambda_{k2}^2}}\left|\mathrm{ctg}\left[\alpha_{kn} - \mathrm{arctg}\left(\lambda_{k2}/\lambda_{k1}\right)\right]\right|\right\} = \\ &= \mathrm{tg}\theta_{kn}. \qquad (15)\end{aligned}$$

Данные равенства являются следствием того факта, что невыход истинной и ложных линий визирования за пределы плоскости $P_k C_n C'_{kn}$ оставляет величину θ_{kn} инвариантом задачи пассивной локации в рамках угломерно-плоскостного метода [2]. Следовательно,

оптимальный и квазиоптимальный методы оценивания местоположения ЛА будут инвариантны к систематическим ошибкам указанного выше класса.

Из сказанного следует вывод, что, оперируя не с измерениями $\{\alpha_{kn},\beta_{kn}\}$, а с косвенным измерением $\hat{\theta}_{kn}=\theta_{kn}$, и применяя угломерно-плоскостной метод, мы убеждаемся в нечувствительности последнего к целому классу постоянных и медленно меняющихся ошибок измерений, не выводящих ложную линию визирования за пределы плоскости (соответственно "ε – плоскости") $P_kC_nC'_{kn}$, рассмотренной в [3]. Очевидно, что, оптимизируя многопозиционную систему путем рационального выбора направляющих векторов $\lambda_1,\lambda_2,...,\lambda_M$ для всех пеленгаторов $П_1,П_2,...,П_M$, можно существенно снизить результирующую ошибку оценивания местоположения $ЛА_n$, обусловленную наличием флуктуационных, постоянных и медленно меняющихся ошибок измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Булычев Ю. Г., Коротун А. А.* Компенсация систематических ошибок измерений в угломерных системах // Радиотехника и электроника, 1992, т. 37, № 10, С. 1815–1823.

2. *Булычев Ю. Г., Ливинский С. В.* Угломерно-плоскостной метод оценивания координат объекта в многопозиционной системе пассивной локации // Изв. вузов. Радиоэлектроника, № 10, 1998. – С. 3–10.

3. *Булычев Ю. Г., Мужиков Г. П.* Оценивание угловых систематических ошибок измерений в радиопеленгаторах на основе принципа инвариантности // Радиотехника, 1996, № 11, С. 19–22.

УДК [004:316]:005–044.337:004.434'22'236:658

Л. Б. Ольхович

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОМОЩИ ИХ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ[1]

Санкт-Петербургский Государственный Университет (lev.olkhovich@gmail.com)

Работа посвящена оптимизации производительности (минимизации времени ответа при сохранении функциональности) бизнес-процессов при помощи их распараллеливания.

Ключевые слова: бизнес-процесс, производительность, распараллеливание.

L. B. Olhovich

OPTIMIZING BUSINESS PROCESS PERFORMANCE USING PARALLELIZATION.

In this paper, parallelization is applied to optimize business process performance (minimize business process' response time while preserving its functionality).

Business Processes, Performance, Parallelization.

Введение

В течение последних лет быстрыми темпами развивается область автоматизации бизнес-процессов (БП) – в частности, благодаря все возрастающей информатизации предприятий и все большему проникновению информационных технологий в различные сферы человеческой деятельности. Если еще недавно БП были не более чем "руководством к действию", правилами выполнения тех или иных процедур, то, с внедрением автоматизации, бизнес-процессы начинают непосредственно определять порядок функционирования предприятия.

Автоматизированные бизнес-процессы превращаются из абстрактных идей и "серебряной пули" менеджмента в действительность и становятся неотъемлемой частью автоматизированных систем управления предприятиями (АСУП) и информационных систем вообще. Бизнес-процессы обеспечивают беспрецедентную гибкость и позволяют адаптировать АСУП к изменяющемуся окружению и осуществлять взаимодействие с новыми видами систем без изменений программного кода и связанных с ним дополнительных затрат на обновление программного обеспечения (ПО). По мере все большей автоматизации БП, все более значительным становится влияние показателей производительности БП на эффективность функционирования предприятий и организаций.

С учетом того, что время является критическим фактором в конкурентной борьбе [1], важной задачей становится обеспечение высокой производительности бизнес процессов и, в частности, ее оптимизация. Распараллеливание бизнес-процесса, то есть выявление допускающих параллельное исполнение шагов в исходно последовательном бизнес-процессе, снижает время исполнения и, тем самым, повышает производительность бизнес-процесса.

Хотя оптимизация производительности программного обеспечения при помощи его распараллеливания была и остается предметом активных исследований [2, 3], исследований по распараллеливанию бизнес-процессов не производилось. При этом, некоторые особенности основного типа применяемых сейчас бизнес-процессов – дирижирующих бизнес-процессов в сервис-ориентированных окружениях – делают возможной полноценное распараллеливание, невозможное в случае "классического" ПО. Соответственно, обеспечивается высокая эффективность оптимизации производительности БП при помощи распараллеливания.

1. Отличия бизнес-процессов от "классического" ПО

Дирижирующие БП [4], на первый взгляд очень похожи на ПО: основу описания составляет информация об упорядочении шагов процесса, потоки данных в явном виде не описываются. Тем не менее, дирижирующие БП имеют некоторые особенности, делающие возможным полноценное распараллеливание: шагами дирижирующих процессов являются либо внутренние операции, либо – вызовы внешних web-служб, или web-сервисов. При этом, вызовы web-сервисов (за исключением случаев, когда явно оговорено отличное) должны удовлетворять как минимум двум свойствам ACID[2] [5]: *атомарности* и *изолированности*:

- В основе сервис-ориентированной архитектуры – SOA [4] – лежит идея независимости потребителя услуги (сервиса) от ее поставщика: любой используемый в бизнес-процессе сервис может быть заменен на аналогичный ему, но поставляемый другим поставщиком, а поставщик сервиса может в любой момент поменять реализацию сервиса. Сам бизнес-процесс при смене поставщика сервиса не должен претерпевать практически никаких изменений[3]. Следствием является отсутствие разделяемого между различными сервисами состояния, за исключением случаев, когда наличие такого состояния обязательно для всех реализаций некоторого сервиса (в этом случае о таком требовании известно и поставщикам, и потребителям сервиса). Соответственно, два исполняемых одновременно действия не влияют друг на друга, то есть их вызовы являются *изолированными*.
- У web-службы присутствует формального определенный интерфейс, определяющий способы ее вызова и получения ответа, а так же – возможные исключения. Промежуточные результаты исполнения действия не отражаются на исполнении процесса, а доступен только их конечный результат. Соответственно, их вызовы являются *атомарными*.
- В этом и заключается важное отличие БП от "классического" ПО: если при анализе потоков данных "классического" ПО на предмет распараллеливания необходимо исходить из наличия у всех системных и бибилиотечных вызовов побочных эффектов (вытекающих из использования глобальных переменных, операций ввода-вывода и т. д.), то атомарность и изолированность вызовов Web-служб дает возможность исходить из обратного предположения – об отсутствии побочных эффектов.
- Таким образом, при выполнении принципа независимости потребителя Web-услуги от ее поставщика, зависимость между действиями[4] возникает только когда одно действие использует в качестве входных данных результат выполнения другого действия. Иначе говоря, шаг A зависит от шага B если и только если шаг A читает переменную, записываемую шагом B[5]. Это позволяет производить полную идентификацию зависимостей между шагами бизнес-процесса при помощи анализа SSA-формы[6] бизнес-процесса и делает возможным глобальное распараллеливание БП.

2. Распараллеливание бизнес-процессов

Распараллеливание БП отличается от распараллеливания ПО не только тем, что может являться нелокальным, но также и невозможностью генерации распараллеленного бизнес-процесса "с нуля" по SSA-форме исходного. Это ограничение вызвано необходимостью

[1] Исследование выполнено при финансовой поддержке Siemens AG, CT SE1.

[2] Некоторые исследователи утверждают, что действия в бизнес-процессе должны удовлетворять всем требованиям ACID (атомарность, согласованность, изолированность, надежность) даже в случае, когда они не ограничиваются вызовами web-сервисов [6].

[3] Обычно достаточно изменить местонахождение (URL) сервиса в дескрипторе развертывания БП.

[4] *Зависимость между шагами (действиями)* можно определить как необходимость успешного завершения некоторого шага (действия) для начала выполнения другого шага (действия).

[5] Семантические аннотации web-сервисов (напр. [7]) могут предоставить дополнительную информацию о зависимостях между действиями и могут быть легко включены в предлагаемый метод анализа; то же самое касается и явно определенных транзакций в BPEL.

[6] Форма одиночного неизменяемого присваивания (Single Static Assignment Form) [8] – представление процесса или алгоритма, в котором каждая переменная присваивается ровно один раз и далее не изменяется.

максимально возможно сохранить существующую структуру бизнес-процесса для последующей его проверки архитектором. Вместо генерации нового бизнес-процесса, распараллеливание производится при помощи изменения структуры существующего БП:

1. По существующему определению исходного бизнес-процесса строится его SSA-форма.
2. По полученной SSA-форме строится граф зависимостей7 (CDG) исходного бизнес-процесса.
3. Граф зависимостей сличается с исходным процессом для выявления последовательно упорядоченных шагов, которые могут выполняться параллельно.
4. Процесс преобразуется таким образом, чтобы обнаруженные в пункте 3 шаги были упорядочены параллельно при сохранении эквивалентности процессов.

Построение SSA-формы и CDG бизнес-процесса. Построение SSA-формы для ПО и БП, в том числе – с параллельными участками, как и построение CDG по SSA-форме, являлось предметом обширных исследований [8, 9, 10], поэтому его описание выходит за рамки настоящей работы.

Рис. 1 на примере демонстрирует получение SSA-формы и CDG процесса:

- Исходный процесс: действие *A* инициализирует переменную *R*, действие B изменяет ее, а действия *C* и *D* – читают уже измененное значение переменной R.
- SSA-подобная форма: R_1 соответствует значению переменной R после действия *A*, R_2 – после действия *B*.

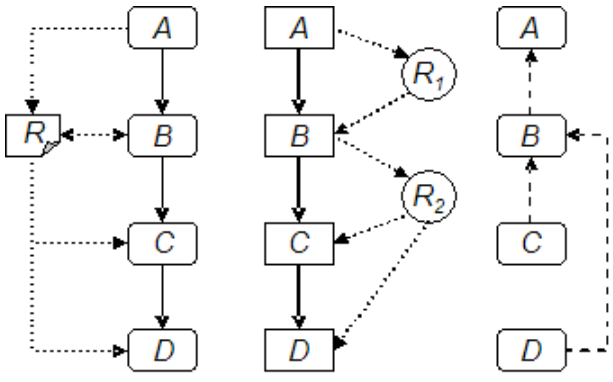


Рис. 1. Пример построения SSA-формы и CDG бизнес-процесса. Сплошными линиями показан поток управления, пунктирными: использование контейнеров (левая часть), поток данных (средняя часть), зависимости (правая часть)

[7] Граф зависимостей (Control Dependence Graph) – это ориентированный граф, где вершины соответствуют шагам процесса, а дуги – зависимостям между шагами.

- Граф зависимостей: так как действие B использует значение R_1, установленное действием *A*, между действиями *B* и *A* есть зависимость; аналогично – для зависимостей (*C* и *B*) и (*D* и *B*). Зависимости же между действиями *C* и *D* нет.

Сличение БП с его CDG. При сличении БП с его CDG обнаруживаются последовательно упорядоченные в исходном процессе шаги, для которых возможно параллельное исполнение с точки зрения CDG. Элементы потока управления, упорядочивающие такие шаги последовательно (в случае BPEL – составные шаги с последовательным упорядочением вложенных шагов), будем называть *неоптимальными*.

Сличение производится при помощи однопроходной "заливки" графа по дугам потока управления и выделяет элементы, которые могут быть получены обращением дуг CDG процесса; соответственно, остальные дуги потока управления являются неоптимальными.

Устранение неоптимальностей потока управления. Используя полученную в ходе анализа информацию о неоптимальных потока управления и о зависимостях между шагами, процесс может быть полуавтоматически оптимизирован следующим образом (см. рис. 2):

1. Удаляются неоптимальные дуги потока управления.
2. Для того, чтобы компенсировать удаление неоптимальных дуг потока управления, производится выявление "неудовлетворенных" зависимостей, которым не соответствуют никакие оставшиеся дуги потока управления:

1) Отношение необходимого при исполнении предшествования шагов процесса, очевидно, транзитивно и является инверсией отношения зависимости. Поэтому CDG транзитивно редуцируется: соответствующие замыканиям дуги потока управления уже выражены через дуги CDG, входящие в его транзитивную редукцию. Эта процедура имеет однозначный результат, т. к. CDG корректного процесса ацикличный (иначе исполнение процесса невозможно). Теперь оставшиеся в CDG зависимости соответствуют необходимым дугам потока управления.

2) Из CDG удаляются "удовлетворенные" зависимости, для которых существуют соответствующие дуги в потоке управления. Теперь в CDG остаются только "неудовлетворенные" зависимости.

3. Создаются новые элементы потока управления, обусловленные "неудовлетворенными" зависимостями между действиями – зависимостями, которым не соответствуют никакие имеющиеся дуги потока управления.

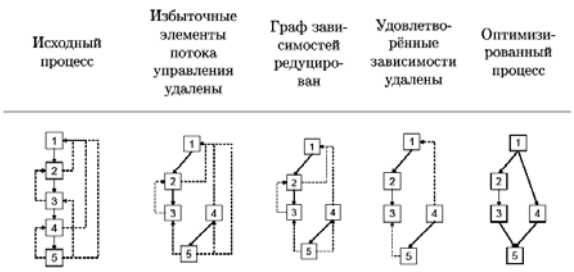


Рис 2. Пример оптимизации бизнес-процесса:
Обозначения. Зависимости между действиями показаны прерывистыми линиями, поток управления – сплошными

4. Корректность полученного в результате автоматической оптимизации процесса проверяется архитектором.

Заключение

В статье рассмотрена оптимизация производительности бизнес-процессов при помощи их распараллеливания. Рассмотрено влияние распараллеливания на производительность дирижирующих БП и представлен метод распараллеливания БП с учетом особенностей дирижирующих БП. Метод позволяет обнаруживать последовательно упорядоченные в процессе шаги, параллельное исполнение которых допускается потоками данных, и реорганизовывать процесс для параллельного исполнения таких шагов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Stalk G., Hout T. M.* Competing against time: how timebased competition is reshaping global markets. New York: *Free Press*, 1990. – 304 p.

2. *Amarasinghe S. P.* Parallelizing Compiler Techniques Based on Linear Inequalities. PhD Thesis. Stanford: Computer Systems Laboratory, Stanford University. January 1997. – 243 p.

3. *Blume W., Doallo R., Eigenmann R., Grout K., Hoeflinger J., Lawrence T., Lee J., Padua D., Paek Y., Pottenger B., Rauchwerger L., Tu P.* Parallel programming with Polaris. IEEE Computer, December 1996. – P. 78–82.

4. *Singh M., Huhns M. N.* Service-Oriented Computing – Semantics, Processes, Agents. Hoboken: *John Wiley and sons, Ltd.*, 2005. – 588 p.

5. *Gray J.* The Transaction Concept: Virtues and Limitations (Invited Paper) // Proc. 7th Int. Conf. On Very Large Data Bases, September 9-11, 1981, Cannes, France. *IEEE Computer Society*, 1981. – P. 144–154.

6. Van der Aalst W.M.P. The application of petri nets to workflow management // Journal of Circuits, Systems, and Computers, 1998. Vol. 8, № 1. – P. 21–66

7. Web Service Semantics – WSDL-S [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.w3.org/Submission/WSDL-S/, свободный.

8. *Cytron R., Ferrante J., Rosen B. K., Wegman M. N., Zadeck F. K.* Efficiently Computing Static Single Assignment Form and the Control Dependence Graph // ACM Transactions on Programming Languages and Systems (TOPLAS), Vol. 13 № 4. New York, NY, YSA: *ACM*, 1991, – P. 451–490.

9. *Singer J.* The SSA Bibliography [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.cs.man.ac.uk/~jsinger/ssa.html, свободный.

10.*Godlinski A.* Static Analysis to discover communication relevant data flows in BPEL-processes. Masther's thesis. Jena: *Friedrich-Schiller-University*, 2006. – 81 p.

УДК 519.6

Б. Х. Санжапов, И.С. Калина

МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ОБЪЕКТОВ В ВИДЕ НЕЧЕТКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Волгоградский филиал Российского государственного торгово-экономического университета (sbkh@mail.ru)

Предлагается модель ранжирования на основе многокритериальной оценки объектов. Для представления экспертного предпочтения используется функция доверия. Предлагаемы подход к ранжированию альтернатив не требует знания функции полезности.

Ключевые слова: нечеткое отношение, экспертное суждение, принятие решений, функция доверия, оценки.

B. Kh. Sanzhapov, I. S. Kalina

A MODEL DECISION MAKING BASED ON MULTI-CRITERIA FUZZY DISTRIBUTING EXPERT ESTIMATIONS

A model of ordering objects according to multi – criteria fuzzy relation is described. A belief function is used to represent expert judgments. The method for decision making based on utility theory has been studied. The proposed approach to ranking objects doesn't demand knowledge of used utility function.

Fuzzy relation, expert judgments, decision making, utility function, estimations.

Проблема анализа концепции развития сложной системы связана с исследованием реализации альтернативных вариантов, каждый из которых способствует успешному достижению сформулированной генеральной цели. В частности, при анализе экономико-социального развития региона с позиций системного анализа такими средствами достижения генеральной цели могут быть различные программы: инновационные, технические, связанные с разработкой и производством новых образцов техники, технологические – разработка и внедрение прогрессивных технологий, социальные, экономические и др. Поэтому становится важным определить наиболее перспективную реализацию принятой к выполнению программы. Иными словами, необходимо проранжировать исходное множество таких исследуемых объектов по их предпочтительности.

Решение задачи определения стратегии развития сложной системы, в частности региона, связано со значительными трудностями: процесс планирования происходит в условиях неопределенности, исходная информация базируется, в основном, на лингвистическом описании и др. Это объективно приводит к тому, что необходимо использовать известные методы и подходы, а также разрабатывать новые, для моделирования исходной информации с целью создания математического и программного обеспечения для исследования вариантов реализации программ развития сложной системы.

Основные требования, предъявляемые к таким моделям, заключаются в том, чтобы они имели возможность определить "критические " элементы, влияющие на эффективность планирования в целом, а также оценить предпочтительность различных альтернативных вариантов друг перед другом.

Рассматриваемое множество альтернатив оценивается экспертами по многим критериям, причем следует заметить, что каждая альтернатива характеризуется, в общем случае, своим набором специфических свойств, отличающимися друг от друга [1, 2]. Вопросы анализа вариантов реализации конкретной программы связаны с моделированием принятия решений и рассмотрением целого ряда возможных последствий. Все это обуславливает необходимость использования методов теории принятия решений для выбора наилучшей альтернативы на основе рассмотрения многих критериев, т. е. необходимо оптимизировать решение в соответствие с несколькими целями.

Анализ и оценка рассматриваемых альтернатив – возможных вариантов реализации программы осуществляется, обычно, силами экспертов на основе критериев, носящих часто качественный характер. Получаемая при этом от экспертов информация является неформальной. В этих условиях одним из приемлемых методов является аппарат теории нечетких множеств [3, 4]. Этот аппарат обеспечивает возможность обработки субъективных оценок альтернатив, осуществляемых специалистами в определенной предметной области – экспертами, для принятия на их основе обоснованных решений.

В дальнейшем будем использовать один из информативных способов формализации суждения эксперта – его представление в виде оценочной функции на множестве допустимых вариантов ответа. Основные особенности исследуемых задач следующие:

многокритериальность;

критерии являются лингвистическими и задаются на дискретных порядковых шкалах;

оценки альтернатив по выбранным критериям являются нечеткими и представляются в виде распределения уверенности на порядковой шкале.

Последнее обстоятельство обусловлено тем, что в ряде случаев невозможно произвести парное сравнение объектов в силу того, что они, например, принадлежат различным классам.

Рассмотрим математическую постановку задачи ранжирования альтернатив, основываясь на результатах работ [5, 6].

Пусть исследуемые альтернативные варианты реализации программы, которые формирует лицо, принимающее решение (ЛПР), совместно с группой консультантов, образуют множество

$$\Omega = \{1, 2, ..., n\}.$$

Для оценки каждой альтернативы из рассматриваемого множества формируются соответствующие критерии. Оценка альтернатив производится силами экспертов – специалистов в предметных областях, которые также разрабатывают порядковые шкалы

$$E^{\xi} = \{e_k^{\xi} \mid k = \overline{1, m^{\xi}}, \xi = \overline{1, \alpha}\},$$

здесь ξ – номер критерия, m^{ξ} – число градаций шкалы E^{ξ}, используемой для критерия ξ, k – номер градации шкалы E^{ξ}, α – общее число используемых критериев.

Каждая альтернатива оценивается по всем критериям, оценка при этом задается в виде распределения уверенности [3].

Функция, характеризующая такое распределение, представляется в виде $m : 2^X \to [0,1]$, и обладает свойствами:

$$m(0) = \phi, \quad \sum_{A \subseteq X} m(A) = 1,$$

X – рассматриваемое множество дискретных градаций шкалы $E^{\xi}(\xi = \overline{1, \alpha})$, A – его подмножества, представляющие собой отдельные градации шкалы, их некоторые объединения, которые обусловлены спецификой решаемой конкретной задачи, 2^X – множество всех подмножеств отрезка $[0,1]$.

Степень уверенности во множестве $A \subseteq X$ выражается в виде функции уверенности (доверия), которая представляется при использовании распределения уверенности в следующем виде [3]

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B),\ A \subseteq X .$$

Функция доверия обладает следующими свойствами, наличие которых дает возможность более адекватно представить экспертную информацию:

1) $Bel(\phi) = 0$,

2) $Bel(X) = 1$,

3) $\forall\ A_1,...,A_n \subseteq X, n > 0$.

Выполняется

$$Bel(A_1 \bigcup ... \bigcup A_n) \geq (-1)^{|I|+1} Bel(\bigcap_{i \in I} A_i),$$

$$I \subseteq \{1,...,n\} .$$

Для иллюстрации предложенного подхода рассмотрим оценку какой-либо альтернативы по критерию "Технологичность". Допустим, что, по мнению экспертов, оценки по этому критерию могут иметь только четыре значения, то есть шкала разбивается на четыре градации: "Низкая", "Приемлемая", "Хорошая", "Высокая". Пусть "осторожный" эксперт сделал следующие оценки: m("Низкая") = 0,1; m("Приемлемая") = 0,3; m("Хорошая") = 0,3; m("Высокая") = 0,1. Рассмотренные оценки являются заниженными (их сумма меньше единицы), неопределенность имеет место при рассмотрении соседних градаций, которая моделируется следующим образом: m("Низкая" или "Приемлемая") = 0,05; m("Приемлемая" или" Хорошая") = 0,1; m("Хорошая" или "Высокая") = 0,05.

В дальнейшем считается, что "незакрепленные" массы характеризуют неопределенность при оценке альтернативы только при рассмотрении соседних градаций лингвистической шкалы [7].

Заметим, что в случае "закрепленных" масс, оценка альтернативы a представляется в виде распределения [5, 6]:

$$\gamma^{\xi}(a) = (p^{\xi}_{a_1},...,p^{\xi}_{a_{n^{\xi}}})$$

при ограничениях

$$\sum_{k=1}^{n^{\xi}} p^{\xi}_{a_k} = 1,\ p^{\xi}_{a_k} \geq 0,\ \xi = \overline{1,\alpha} ,$$

величина $p^{\xi}_{a_k}$ трактуется как достоверность того, или степень уверенности в том, что при рассмотрении критерия ξ оценка альтернативы a по шкале E^{ξ} есть e^{ξ}_k.

Один из способов определения оценок $m(e^{\xi}_k), \xi = \overline{1,\alpha}, k = \overline{1,n^{\xi}}$, характерный для "осторожных" экспертов при групповом оценивании альтернатив, заключается в том, что величина оценки принимается пропорционально числу голосов экспертов (или равной доле числа экспертов), полагающих, что оценка альтернативы по фиксированному критерию при рассмотрении конкретной градации соответствующей шкалы является минимальной, и ее нельзя уменьшить.

Оценка альтернативы $a \in \Omega = \{1,...,n\}$ по критерию $\xi \in \{1,...,\alpha\}$ представляется в виде распределенной оценки

$$\gamma^{\xi}(a) = (m^{\xi}_1(a), m^{\xi}_{1,2}(a), m^{\xi}_2(a),..., m^{\xi}_{n^{\xi}}(a)),$$

сумма оценок в скобках равна единице. Здесь предполагается, что неопределенность при экспертном оценивании альтернатив может иметь место только при рассмотрении соседних градаций лингвистической шкалы. Таким образом, каждая альтернатива $a \in \Omega = \{1,...,n\}$ при многокритериальной оценке характеризуется набором

$$\gamma(a) = (\gamma^1(a),..., \gamma^{\alpha}(a)) .$$

В дальнейшем будем считать, что выполняются следующие неограничительные предположения.

Предположение 1. Оценка альтернативы по всем критериям является распределенной, то есть оценка по каждому критерию не зависит от оценок по другим критериям.

Предположение 2. Относительная предпочтительность оценок на шкалах, в том числе и лингвистических, описывается аддитивной функцией полезности

$$u(e^{\xi}_1,...,e^{\xi}_{n^{\xi}}) = u(e^{\xi}_1) + ... + u(e^{\xi}_{n^{\xi}}),\ \xi = \overline{1,\alpha} .$$

На основании Предположения 2 можно сделать вывод о том, что на множестве всех градаций шкал $E^{\xi} - \{e^{\xi}_k \,|\, k = \overline{1,n^{\xi}}, \xi = \overline{1,\alpha}\}$ определяется отношение квазисерии $\succ$ [8]:

$$e^{\xi'}_k \succ e^{\xi''}_t \Leftrightarrow u_{\xi'}(e^{\xi'}_k) > u_{\xi''}(e^{\xi''}_t) .$$

Отношение P на множестве $\Omega = \{1,...,n\}$ называется квазисерией (четкой), если оно антирефлексивно, транзитивно и отношение $\overline{P \bigcup P^{-1}}$ есть отношение эквивалентности. С помощью такой конструкции все градации шкал используемых критериев разбиваются на классы эквивалентных градаций $C_1,...,Cm$, а сами эти классы строго упорядочиваются по предпочтению. Для построенных таким образом градаций выполняются условия [6]:

$$(e^{\xi'}_s, e^{\xi''}_t \in C_i) \Leftrightarrow u_{\xi'}(e^{\xi'}_s) = u_{\xi''}(e^{\xi''}_t) ,$$

$$(e^{\xi'}_s \in C_i, e^{\xi''}_t \in C_j, i < j) \Leftrightarrow u_{\xi'}(e^{\xi'}_s) > u_{\xi''}(e^{\xi''}_t) .$$

Существенным моментом в задаче ранжирования альтернатив в такой постановке задачи является то, что знание функции полезности не является обязательным.

Для решения поставленной выше задачи от экспертов и ЛПР требуется информация следующего вида:

1) $\Omega = \{1,2,...,n\}$ – множество альтернатив;

2) $\{K_\xi, \xi = \overline{1,\alpha}\}$ – множество критериев со шкалами, имеющими дискретные градации;

3) Множество распределенных оценок каждой альтернативы $a \in \Omega = \{1,...,n\}$ –

$$\gamma^\xi(a) = (m_1^\xi(a), m_{1,2}^\xi(a), m_2^\xi(a), ..., m_{n^\xi}^\xi(a))$$

по выбранной шкале

$$E^\xi = \{e_k^\xi \mid k = \overline{1,m^\xi}, \xi = \overline{1,\alpha}\};$$

4) $C_1,...,C_m$ – классы эквивалентных градаций, построенных ЛПР, при условии того, что каждая градация из класса C_j строго предпочтительней любой градации из класса C_{j+1}.

Приведенная выше информация является необходимой для ранжирования альтернатив при их оценке по многим критериям и моделировании сведений на основе распределения уверенности, полученных от экспертов и ЛПР.

Схема обработки экспертной информации, заданной в таком виде предполагает выполнение несколько этапов [7]. На первом – строится функционал, характеризующий модуль разности по полезности произвольных двух альтернатив при фиксированном критерии. На втором – решается транспортная задача линейного программирования максимизации меры эквивалентности этих альтернатив, что позволяет определить значения масс уверенности и получит в результате оценки с "закрепленными массами" [7]. На третьем – используется метод построения обобщенной шкалы $E = \{e_1,...,e_m\}$, в которой каждая градация принадлежит соответствующему классу эквивалентных градаций. Каждая альтернатива оценивается в виде распределенной величины, каждая компонента которой есть среднее арифметическое значение по оценкам различных критериев, входящих в рассматриваемый класс. На четвертом – решается соответствующая транспортная задача линейного программирования закрытого типа минимизации разности по полезности двух альтернатив [5, 6]. На пятом – определяется нечеткое обратимое отношение на множестве рассматриваемых альтернатив, которое не является в общем случае транзитивным.

Для поиска сверхтранзитивной матрицы, аппроксимирующей вычисленную матрицу, используется разработанный программный продукт [9]. Найденная таким образом сверхтранзитивная матрица позволит окончательно проранжировать исходное множество альтернатив.

Эффективность предложенного подхода подтверждена при решении ряда практических задач, в частности, при определении оптимальной реализации программы – выбора рационального способа бурения [10]. Рассматривается пять альтернативных способов: роторный, лазерный, лазерно-ультразвуковой, турбинный, взрывной. Это множество оценивается по 23 критериям: экономический, экологический, технологический, технический и другие, с введенными на них порядковыми шкалами. Наилучшим оказался лазерно-ультразвуковой способ, который лучше эквивалентных между собой турбинного и лазерного как 0,59, то есть преимущество не является абсолютным. Последние эквивалентные способы лучше роторного как 0,65, что указывает на их превосходство. И роторный – незначительно превосходит взрывной, как 0,55.

Заключение. Рассмотренный подход к решению задачи ранжирования альтернатив, оцениваемых по многим критериям, позволяет моделировать лингвистическую информацию в виде распределенных оценок. Предложенный метод ее обработки, основанный на минимизации разности по полезности объектов, не подразумевает знание функции полезности, при этом необходимо установить только линейный порядок на множестве градаций обобщенной шкалы. Эффективность работы подтверждена при решении конкретных задач выбора оптимальной реализации принятых к исполнению программ развития региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дубов Ю. А., Травкин С. И., Якимец В. Н.* Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. – М.: Наука, 1986. – 296 с.

2. *Брахман Т. Р.* Многокритериальность и выбор альтернатив в технике. – М.: Радио и связь, 1984. – 268 с.

3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. – М.: Наука,1986. – 312 с.

4. *Новак В., Перфильева И., Мочкорж И.* Математические принципы нечеткой логики / Пер. с англ. Под ред. Аверкина А.Н. – М. Физматлит. 2006. – 352 с.

5. *Жаке-Лагрез Э.* Применение размытых отношений при оценке предпочтительности распределенных величин //

Статистические модели и многокритериальные задачи принятия решений. – М.: Статистика, 1979. – С. 168–183.

6. Ранжирование распределенных величин на основе нечетких квазисерий / Макеев С. П., Серов Г. П., Чуйкин С. И. и др. – М.: ВЦ АН СССР, 1986. – 34 с.

7. *Соболев В. М., Санжапов Б .Х.* Планирование экономического и социального развития региона (на примере Волгоградской области). Аналитический подход. – Волгоград: Ведо, 1992. – 128 с.

8. *Миркин Б. Г.* Проблемы группового выбора. – М.: Наука, 1974. – 256 с.

9. *Санжапов Б. Х., Калина И. С.* Моделирование принятия решений при стратегическом планировании устойчивого экономико-социального развития региона // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер.: Концептуальное проектирование в образовании, технике и технологии. Вып. 2(17). – Волгоград: ВолгГТУ, 2006. – С. 77–79.

10. *Соболев В. М., Санжапов Б. Х.* Экспертная оценка объектов машиностроения при обосновании технического задания на проектирование // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1993. – № 3. – С. 13–15.

УДК 681.518.5

П. Ю. Шумский

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет (pshumsky@mail.ru)

Изложены проблемы в области диагностирования технологического оборудования, а также обоснована необходимость автоматизации процедур оценивания. Рассмотрена концепция создания автоматизированной системы оценивания состояния технологического оборудования, как прикладного программного обеспечение. Изложены основные возможности, обобщенная модель и перспективы использования системы.

Ключевые слова: система, оценка, состояние, пригодность, технологическое оборудование.

Pavel Shumskiy

THE CONCEPT OF CREATION OF THE AUTOMATED SYSTEM OF ESTIMATION OF A CONDITION OF THE PROCESS EQUIPMENT

Problems in the field of process equipment diagnosing are stated, and also necessity of automation of procedures of estimation is proved. The concept of creation of the automated system of estimation of a condition of the process equipment, as applied program maintenance is considered. The basic possibilities, the generalised model and prospects of use of system are stated.

System, estimation, condition, suitability, the process equipment.

Технологическое оборудование является неотъемлемой частью окружающей среды в нашей жизни и нередко несет в себе потенциальную опасность при длительной эксплуатации и износе. Технологическое оборудование создается на базе заданных критериев и установленных норм и правил, а также при введении его в эксплуатацию оно проходит ряд контролирующих и проверяющих инстанций. В процессе эксплуатации оно подвергается воздействию циклических нагрузок, а также влиянию окружающей среды и как следствие – возникает износ. На сегодняшний день возникла существенная проблема – значительное количество технологического оборудования на производственных объектах находится в эксплуатации длительный срок, и в связи с этим, требуется периодический контроль и диагностика его состояния [1].

Данный вид деятельности в России является относительно новым, ему около 20 лет. В связи с этим, периодический контроль и диагностика состояния эксплуатируемого технологического оборудования в необходимом объеме затруднены, причиной этого является:

- отсутствие необходимого количества специалистов;
- сложность проводимых процедур;
- отсутствие опыта и наработок в данной области.

Для облегчения оценки того или иного типа технологического оборудования требуется специализированное программное обеспечение, ориентированное на российские стандарты, нормы и правила. В России на сегодняшний день такое программное обеспечение отсутствует. Вследствие этого, разрабатываемая автоматизированная система оценивания не является универсальной для всех разновидностей технологического оборудования, а служит вспомогательным средством для мониторинга и обслуживания ограниченного перечня оборудования – сосудов и трубопроводов.

В целях создания системы необходимо решить следующие задачи:

1) разработать концепцию автоматизированной системы;

2) построить обобщенную модель системы;

3) разработать и оптимизировать логику функционирования системы;

4) определить результаты и перспективы применения системы.

Концепция автоматизированной системы оценивания. Актуальность разработки автоматизированной системы оценивания (АСО) со-

стояния сосудов и трубопроводов и их пригодности к эксплуатации определяет возникшая ситуация в России. Система предназначена для автоматизации функций сбора, систематизации, накопления, обработки, выдачи и отображения данных для их анализа, обобщения и выработки соответствующих экспертных решений.

АСО должна представлять собой интегрированную многоуровневую автоматизированную систему. Она позволит проводить оценку технического состояния сосудов и трубопроводов, подвергшихся разрушению, по единой схеме и алгоритму, а также позволит проводить диагностический анализ, ориентированный на определенный тип износа и геометрию поврежденного объекта. Помимо этого, АСО даст возможность рассчитывать и оценивать состояние исследуемого оборудования на любом этапе его эксплуатации. Участие органов, компетентных в сфере оценивания пригодности к эксплуатации технологического оборудования, в процессах создания и эксплуатации АСО позволит им решать следующие задачи: подбирать наиболее подходящий алгоритм оценивания для конкретных ситуаций, существенно сокращать время расчетов и подбора соответствующих параметров, получать доступ к информационным ресурсам и использовать их для оптимизации процедур оценивания.

АСО должна обеспечивать автоматизацию следующих процессов: выбор необходимого уровня оценивания для того или иного типа износа; проверка выполнения обязательных условий эксплуатации технологического оборудования и его предельных состояний; сбор, формализация и систематизация параметров сосудов и трубопроводов, соответствующих установленному типу износа и геометрии; расчет результирующих показателей состояния оборудования.

Одной из основных задач создания АСО является повышение эффективности оценивания состояний и пригодности к эксплуатации сосудов и трубопроводов. Другая важнейшая задача ее создания – своевременное выявление предельных состояний технологического оборудования.

Благодаря комплексному подходу при использовании АСО у эксперта появляется возможность планомерно проводить оценку пригодности к эксплуатации технологического оборудования, контролировать динамику его износа и при достижении порогового значения прочности (толщины стенки и др.) проводить ремонт или замену поврежденного элемента, а не дожидаться разрушительных последствий износа.

АСО должна обеспечивать реализацию следующих функций:

- сбор, систематизацию, накопление, обработку, выдачу и отображение данных для их анализа, обобщения и выработки экспертных решений;
- создание формализованного отчета о проделанной оценке;
- контроль и оповещение о некорректных данных и/или некорректных действиях.

Создание АСО состояния сосудов и трубопроводов требует выполнения ряда задач:

1) изучение явления потери прочности сосудов и трубопроводов в процессе его эксплуатации [2];

2) изучение и классификация наиболее распространенных и установленных на сегодняшний день типов износа;

3) сбор и структурирование всесторонних данных о свойствах, параметрах эксплуатации и геометрии сосудов и трубопроводов [3];

4) изучение существующих алгоритмов и методик оценки пригодности к эксплуатации, их структурирование и анализ взаимозависимостей;

5) проектирование и разработка оптимальной модели АСО;

6) разработка и реализация интуитивно-понятного интерфейса системы;

7) программирование автоматизированной системы;

8) разработка и реализация адаптивной информационно-справочной системы;

9) внедрение и апробация.

Преимущества АСО заключаются в следующем: адаптация "в реальном времени" под определенный тип износа и геометрию поврежденного элемента; безошибочный подбор и применение соответствующего алгоритма оценивания; автоматизация основного объема вычислений позволяет устранить негативный человеческий фактор и избежать неточностей в вычислениях и допущений на каждом из этапов оценивания, которые в результате выливаются в суммарную погрешность.

Обобщенная модель системы. Построению модели АСО предшествовало предпроектное обследование, которое включало в себя изучение свойств и характеристик сосудов и трубопроводов, областей их применения, разновидностей возмущающих и разрушающих сред, возможных вариантов износа и существующих

методик оценивания. Во время обследования необходимо было учитывать уникальность и специфичность условий применения технологического оборудования в России, связанную с условиями эксплуатации и природными условиями. В результате предпроектного обследования были выработаны подход к построению модели и алгоритм АСО.

Алгоритм АСО (рис. 1) основывался на логике проведения полного комплекса процедур оценивания технологического оборудования. Необходимо учитывать, что пункт 1 проводится экспертом самостоятельно и в систему поступают лишь конечные характеристики повреждения и результат проведенного осмотра. Для каждого из типов износа существует собственный набор методик оценивания, вследствие этого логика системы строится исходя из принципа оптимизации процедур оценивания износа сосудов и трубопроводов.

На рис. 2 представлена структура АСО, ее внутрисистемные и внешние связи. Разрабатываемая система оценивания содержит внешние связи с такими элементами как – "Эксперт" и "Исследуемый объект". Взаимодействия АСО с экспертом (оператором) и исследуемым объектом предполагают адекватное использование ресурсов АСО с целью определения пригодности к дальнейшей эксплуатации исследуемого объекта и получение исходных данных, характеризующих повреждение, соответственно.

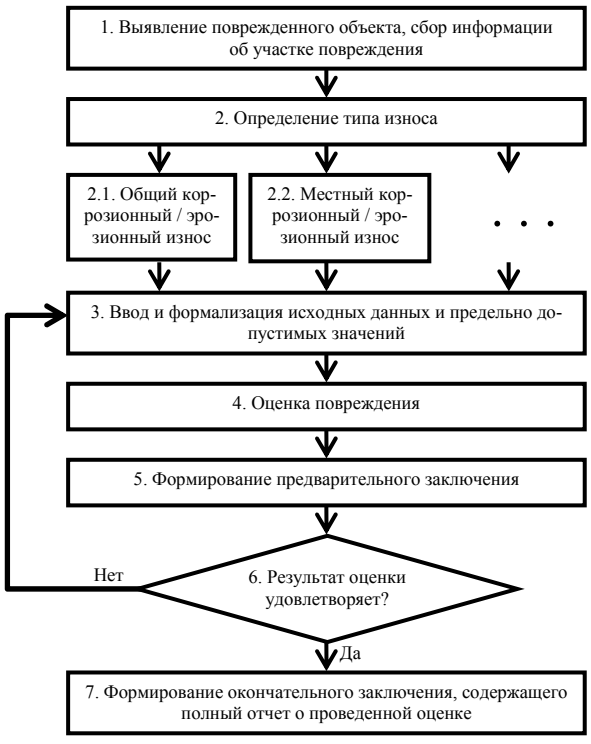


Рис. 1. Алгоритм автоматизированной системы оценивания

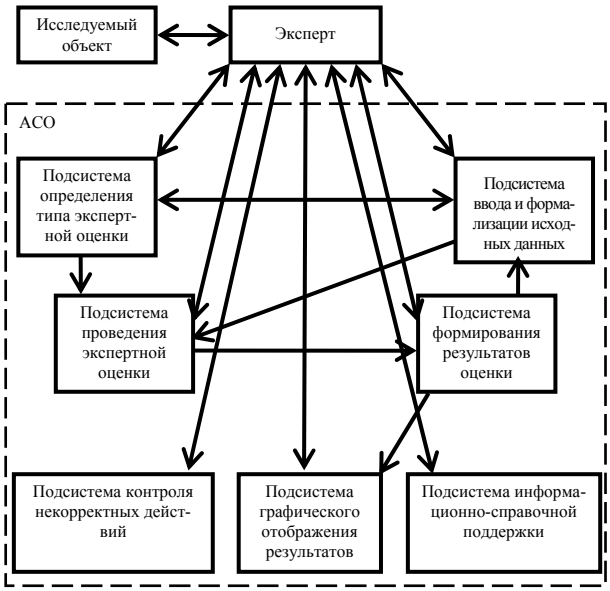


Рис. 2. Структура автоматизированной системы оценивания

Перспективы использования АСО

Разработка и внедрение такой системы существенно облегчит работу экспертов, так как автоматизирует вычисления и оптимизирует работы, осуществляемые при проведении оценки состояния сосудов и трубопроводов. По большей части это математические вычисления, основанные на заранее установленных законах и алгоритмах.

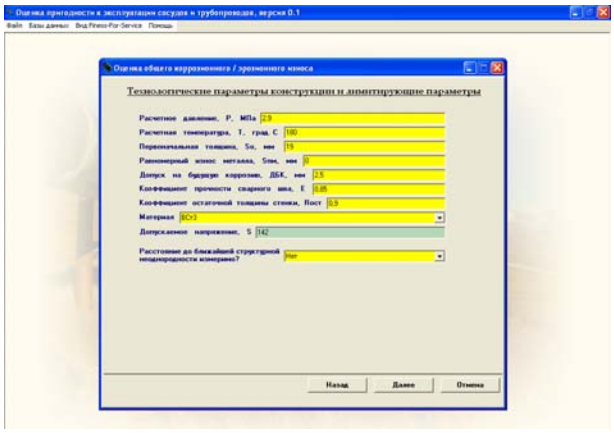


Рис. 3. Ввод исходных данных

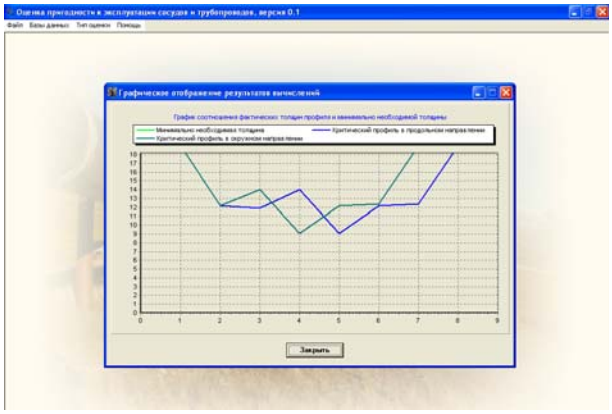


Рис. 4. График результатов

На рис. 3 и 4 приведены экранные формы отдельных этапов проведения оценки пригодности к эксплуатации технологического оборудования.

Эксперт, использующий данную систему, получает возможность формирования нескольких заключений на основе результатов оценивания состояния технологического оборудования.

Применение АСО состояния сосудов и трубопроводов даст следующие преимущества: позволит снизить отрицательный человеческий фактор при проведении оценки; повысит качество оценок и заключений, выдаваемых экспертами; позволит сократить материальные затраты на содержание сосудов и трубопроводов, а также трудозатраты на проведение процедур оценки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гетман А. Ф., Козин Ю. Н.* Неразрушающий контроль и безопасность эксплуатации сосудов и трубопроводов давления. М.: Энергоатомиздат, 1997. – 288 с.

2. *Горшков А. Г., Трошин В. Н., Шалашилин В. И.* Сопротивление материалов: Учеб. пос. 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 544 с. – ISBN 5-9221-0181-1.

3. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86) / Госатомэнергонадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 525 с. – (Правила и нормы в атомной энергетике).

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК [658.3.018+658.14.011.1]:378

С. С. Беззубикова, Ю. М. Брумштейн, А. А. Ветрова

О ВОЗМОЖНЫХ ПОДХОДАХ К РАСПРЕДЕЛЕНИЮ СРЕДСТВ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ КАФЕДР В ВУЗАХ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ ОЦЕНОК КАЧЕСТВА ИХ РАБОТЫ

Астраханский государственный университет (bezzubikova@mail.ru , brum2003@mail.ru)

Рассмотрены источники получения средств для финансирования деятельности вузов и существующие методы их распределения. Исследованы возможные подходы к комплексной оценке деятельности кафедр вуза. Для этой цели проанализированы существующие методики и частные критерии оценок, предложены некоторые авторские подходы. Подробно представлен соответствующий математический аппарат. Особое внимание уделено вопросам снижения размерности пространства показателей и построению интегральных критериев. На основе рассмотренных показателей качества деятельности кафедр предложены некоторые новые подходы к распределению средств дополнительного финансирования между кафедрами вуза и внутри них.

Ключевые слова: Вузы. Кафедры. Оценка качества деятельности. Критерии оценки. Формулы для оценки. Снижение размерности пространства показателей. Управление распределением средств.

S. S. Bezzubikova, U. M., Brumshteyn A. A. Vetrova

ABOUT POSSIBLE APPROACHES TO DISTRIBUTION OF ADDITIONAL FINANCING MEANS FOR HIGH SCHOOLS CHAIRS ON THE BASIS OF THEIR WORK QUALITY COMPLEX ESTIMATIONS

Sources of means reception for Universities activity financing and existing methods of their distribution are considered. Possible approaches to university chairs activity complex estimation are investigated. For this purpose existing techniques and private estimation criteria are analysed, some author's approaches are offered. The corresponding mathematical apparatus is presented in detail. The special attention is given for questions of decreasing space dimension indicators and construction of integrated criteria. On the basis of the considered quality indices for chairs activity some new approaches to additional financing means distribution between university chairs and inside them are offered.

Universities. Chairs. An estimation of activity quality. Criteria for an estimation. Formulas for an estimation. Decrease in space dimension of indicators. Management of means distribution.

Принятие рациональных управленческих решений (включая стимулирующее финансирование) должно базироваться на комплексных оценках качества работы кафедр вузов (КОКРКВ). Ниже авторы попытались исследовать возможные подходы к обоснованию таких решений.

1. Источники получения и методы распределения средств

Финансирование системы высшего и послевузовского образования России сейчас носит смешанный характер: плановые средства из госбюджета (B_1) и бюджетов муниципальных образований (B_2); средства по грантам от организаций, получающих бюджетное финансирование (G_1) и финансируемых не из госили муниципальных бюджетов (G_2); спонсорская помощь (H_1); доходы, вузов полученные от предпринимательской и иной приносящей доход деятельности [3] (D_1). При этом D_1 включает: оплату гражданами (студенты, аспиранты, докторанты и пр.) обучения; оплату предприятиями и организациями подготовки/переподготовки/повышения квалификации специалистов; средства от выполнения хоздоговорных работ; доходы от использования объектов интеллектуальной собственности вузов; доходы от информационных услуг, в т.ч. предоставления доступа студентам в Интернет; доходы от сдачи в аренду помещений, спортивных и других сооружений, а также оказания платных услуг с использованием этих объектов; оплата проживания в вузовских общежитиях, гостиницах, на базах отдыха и пр. Не входят в D_1: средства зарабатываемые "малыми предприятиями" при вузах, которые являются самостоятельными юридическими лицами; в отношении G_1 и G_2 – средства, поступающие непосредственно сотрудникам, минуя расчетные счета вузов.

В повседневной работе D_1 обычно трактуется как "внебюджетные средства" (термин, формально не определенный в законодательстве). Под ними понимают весь объем средств, заработанных вузом самостоятельно.

Доля D_1 в общем объеме финансирования (S) для вуза может характеризовать степень его активности в привлечении внебюджетных средств

$$\Psi = D_1 / S = D_1 /(D_1 + B_1 + B_2 + H_1 + G_1 + G_2) \quad (1)$$

За счет планового бюджетного финансирования обеспечиваются базовые (обычно минимальные) нужды кафедр. Помимо этого кафедры могут получать от вуза и дополнительное стимулирующее финансирование (ДСФ) – обычно из внебюджетных средств, причем не более 30–40 % от D_1.

Типичные варианты принятия решений по распределению ДСФ: единолично ректором вуза; ректоратом; Ученым Советом вуза. Однако рост размеров госвузов, усложнение их внутренней структуры, увеличение числа филиалов, кафедр и другие факторы приводят к целесообразности передачи части полномочий (и ответственности) по распределению и фактическому использованию ДСФ на нижестоящие уровни, в т. ч. на кафедры.

2. Подходы к комплексной оценке работы кафедр вуза

В настоящее время не существует действующей методики КОКРКВ, утвержденной Минобрнауки России. При анализе существующих методик КОКРКВ (рейтингования) кафедр, принятых в вузах РФ, было выявлено: практически все методики используют интегральные оценки на основе большой совокупности (до 89) частных показателей; результаты КОКРКВ используются больше для принятия решений по мерам морального поощрения, чем для финансово-экономического управления (ФЭУ). Чаще всего, оценки рейтингов кафедр основаны на формулах типа

$$R_i = \sum_{j=1}^{J} \lambda_j * F_{j,i} \qquad (2)$$

где R_i – рейтинг i-й кафедры;

J – количество показателей, учитываемых при рейтинговании;

λ_j – весовой коэффициент j-го показателя (обычно без учета типа кафедры);

$F_{j,i}$ – значение j-го показателя для i-й кафедры – обычно это натуральный показатель (НП).

В качестве $F_{j,i}$ применяются: количественные значения НП; качественные показатели; показатели, пересчитанные из НП. Конструкция (1) дает преимущества кафедрам с бо́льшим числом сотрудников. Поэтому целесообразна нормировка, например

$$F^*_{j,i} = F_{j,i} / K_s \qquad (3)$$

где K_s – количество штатных сотрудников кафедры. Подход типа (1) использовался также Минобрнауки России для рейтингования вузов, причем они делились на группы – с целью обеспечения сопоставимости рейтингов.

Для сглаживания колебаний рейтингов кафедр от года к году можно использовать взвешенное усреднение в скользящем окне – например, по

$$R_i^{(U)} = \\ = (R_i^{(t)} + \phi^{(t-1)} * R_i^{(t-1)} + \phi^{(t-2)} * R_i^{(t-2)}) / (1 + \phi^{(t-1)} + \phi^{(t-1)}) \qquad (4)$$

где: $R_i^{(t)}, R_i^{(t-1)}, R_i^{(t-2)}$ – рейтинги: в текущем году, один и два года назад; $\phi^{(t-1)}, \phi^{(t-2)}$ – весовые коэффициенты, причем $1 \geq \phi^{(t-1)} \geq \phi^{(t-2)}$. Недостатки формул типа (1) для КОКРКВ: не учитываются взаимозависимости частных показателей (ЧП); при большом количестве ЧП трудоемкость сбора/отслеживания, проверки, обработки данных чересчур высока. Поэтому целесообразно выделение небольшого набора ЧП для КОКРКВ, с максимальным сохранением имеющейся информации. Для решения этой задачи нами были проанализированы совокупности критериев: одобренные приказом Минобразования РФ № 593 [2] от 19.02.2003 г. (всего 44 ЧП); предложенные различными вузами России (более 70 ЧП); выявленные нами путем опросов сотрудников Астраханского госуниверситета (АГУ) – около 20 ЧП. Многие из полученных ЧП (суммарно более 130) повторяются в каждой из указанных трех совокупностей ЧП, хотя и называются немного по-разному. Поэтому количество ЧП было снижено до 42 – без уменьшения полноты охвата данных. При этом мы имели в виду преимущественно выпускающие кафедры вузов, т. к. часть ЧП относится только к ним.

Для определения субъективной важности ЧП нами в 2007 г. был проведен экспериментальный анкетный опрос (ЭАО). Были получены ответы от 71 чел.: руководителей кафедр и факультетов АГУ – 31 чел. (Г1); студентов АГУ – 19 чел (Г2); административно-управленческого персонала АГУ – 10 чел (Г3), работодателей – 11 чел. (Г4). Подчеркнем, что мы не рассматриваем это ЭАО как "процедуру экспертного оценивания". Анкетируемые давали бальные оценки 42 ЧП в интервале от 0 (критерий не важен) до 10 (критерий крайне важен). Это дало нам матрицу оценок размерностью 42*71, которую мы обрабатывали в нескольких направлениях.

(Н1). Оценки совпадений мнений анкетируемых выполнялись на основе средних значений (СЗ) абсолютных величин парных коэффициентов корреляции (ПКК) по Пирсону [1] – СЗ

определялись по нижним треугольникам корреляционных матриц (как альтернативу укажем "коэффициент конкордации"). При этом были получены СЗ ПКК: для группы Г1 – 0.182; Г2 – 0.191, Г3 – 0.199, Г4 – 0.157; в целом по всем 71 анкетируемым – 0.176. Низкие ПКК (не только в "целом", но и для отдельных групп) говорят о значительных субъективных отличия в оценках анкетируемых.

(Н2) Для оценки значимости различий между мнениями для групп Г1…Г2 в отношении отдельных показателей использовалась методика сравнения выборок с попарно не связанными вариантами [1]. При этом мы получили 42 (по ЧП) матрицы размерностью "4*4" (по группам Г1…Г2) с бинарными значениями ("1" для значимых различий, "0" – для незначимых, при заданном уровне значимости [1] в 0.05). В силу симметричности этих 42-х матриц удобно использовать одну прямоугольную матрицу [М] размерностью 42*6 (число критериев * число сочетаний групп Г1…Г2). Процентные доли "значений '1' "для столбцов [М] дают оценку различий мнений анкетируемых по совокупности 42 ЧП. Наибольшие различия оказались между группами "Г3" и "Г4".

(Н3) Матрицу [М] можно использовать и для анализа по отдельным ЧП. Чем выше СЗ по строке [М], тем больше для данного ЧП "значимые различия" мнений анкетируемых в отношении их важности. Наиболее значимые различия оказались для ЧП "Объем хоздоговорных работ, выполненных силами кафедры по отношению к общему объему работ вуза", наименее значимые – для ЧП "Удовлетворенность студентов уровнем качества и содержанием подготовки".

(Н4) Для мониторинга ЧП и принятия решений (в т.ч. в рамках ФЭУ) 42 критерия – слишком много. Поэтому далее мы исследовали возможные подходы к сокращению набора ЧП.

(Н4-1) Методы главных компонент (ГК) и главных факторов (ГФ) – стандартные для решения задач снижения размерности пространства показателей. Эти методы основаны на расчете матриц ПКК, отражающих только линейные взаимосвязи между критериями. Недостатки методов ГК и МГФ: сложность содержательной интерпретации наборов получаемых ГК и ГФ; для наших данных дисперсии, относящиеся к ГК и ГФ уменьшались довольно медленно при росте номеров компонент/факторов, при всех вариантах вращений в методе ГФ; не было значительных преобладаний весовых коэффициентов для отдельных НП в первых ГК и ГФ.

(Н4-2) Метод корреляционных плеяд (КП), первоначально предложенный Терентьевым [5] аналогично ГК и ГФ базируется на матрице ПКК, причем КП представляются как оптимальное дерево (дендрит) в виде графической структуры. В нашем случае она состоит из 42 вершин-ЧП, соединенных ребрами (с длинами, определяемыми модулями ПКК между ЧП). Всего было выделено 9 КП (групп взаимосвязанных параметров). Содержательная интерпретация этих КП значительно проще, чем в методах ГК и ГФ. Недостаток полученных результатов – значительная часть КП была представлена лишь одним ЧП.

(Н4-3) Для уменьшения числа ЧП, на основе которых могут приниматься решения (в т. ч. в отношении ФЭУ), было использовано выделение "ядер" КП, т. е. ЧП, "наиболее полно представляющих все остальные факторы плеяды" [5]. Общепринятого алгоритма выделения "ядер" не существует. Поэтому в КП с более чем одним ЧП мы выделяли в качестве "ядер" вершины-ЧП, имеющие максимальное количество значимых (по уровню значимости 0.01 при $n = 71$ [1,4]) корреляционных связей. Если у нескольких вершин этот показатель был одинаковым, выбиралась та, у которой было максимальное среднее ПКК с другими вершинами "своей" КП. Таким образом, было выделено девять "ядер", соответствующих отдельным ЧП.

(Н5) В задачах снижения размерности пространства показателей учет нелинейных взаимосвязей между ними можно выполнить переходом от ПКК к "корреляционным отношениям" (КО) [1] или факторам "R^2". Однако матрицы КО и R^2 – несимметричны, что приводит к идеологическим и техническим усложнениям при выполнении расчетов.

(Н6) Опишем подход, альтернативный методу КП. Для совокупности ЧП введем матрицу расстояний [r] между ними (в виде функции от значений ПКК, например – обратно пропорционально модулям ПКК). Задача разбиения ЧП на заданное число групп (G) может рассматриваться как комбинаторная – с критерием оптимальности в виде минимума сумм

$$\min\left(\sum_{g=1}^{G}\left(\sum_{i>j} r_{i,j}\right)\right) \qquad (5)$$

по всем "внутригрупповым" расстояниям между ЧП в группах. Недостатки подхода: необходи-

мость задания количество групп; формула для вычисления "расстояний" между ЧП может быть задана неоднозначно. По аналогии с КП возможен также переход от групп ЧП к "ядрам" групп.

3. Распределение ДСФ между и внутри кафедр вуза

Конкретную *i*-ю кафедру можно охарактеризовать двумя параметрами. Первый (Q_i) оценивает роль ДСФ в финансировании кафедры вузом

$$Q_i = (V_i / Y_i) * 100\% \qquad (6)$$

где V_i – объем ДСФ, выделяемых для стимулирования кафедры; Y_i – объем базового финансирования вузом текущей деятельности той же кафедры. На практике значения Q_i для кафедр (особенно выпускающих) могут превышать несколько десятков процентов. Второй параметр оценивает степень самостоятельности кафедры в отношении расходования ДСФ

$$\Omega_i^V = (V_i^C / V_i) * 100\% \qquad (7)$$

где V_i^C – ДСФ, которыми кафедра может распоряжаться самостоятельно.

Наглядное представление сочетаний этих параметров для кафедр дает точечная диаграмма (ТД) в ортогональных осях "$Q \div \Omega^V$ (целесообразны символьные обозначения точек – соответственно типам кафедр). Для группировки могут быть применены методы кластерного анализа.

С учетом перерасхода или экономии ДСФ по *i*-й кафедре за предшествующий период (E_i) распределение общего объема ДСФ (W) между I кафедрами вуза может быть выполнено по

$$F_i = E_i + W * R_i / R^+ ; \; R^+ = \sum_{i=1}^{I} R_i \qquad (9)$$

где: F_i – объем ДСФ, выделяемых *i*-й кафедре (при этом (9) не предусматривает дисконтирования E_i по времени). В порядке модификации (9) могут не учитываться кафедры с рейтингом ниже порогового (R_n).

$$F_i = E_i + W * R_i / R^* ;$$

$$R^* = \sum_{i=1}^{I} \begin{cases} R_i, (при_ R_i > R_n) \\ 0, (при_ R_i \le R_n \end{cases} \qquad (10)$$

На практике (9), (10) обычно корректируются с учетом: типа кафедры; различий в востребованности выпускников разных специальностей; отличий в скоростях получения положительных эффектов от ДСФ и пр.

Основные направления расходования ДСФ в рамках кафедр: выплата денежных средств сотрудникам; материальное поощрение аспирантов, докторантов, возможно студентов; приобретение учебного и научного оборудования, программного обеспечения, литературы; финансирование командировок; организация научных конференций и семинаров; финансирование научных исследований и т. д. Решения могут приниматься заведующим кафедрой единолично и/или коллективом кафедры в целом.

Поскольку денежные выплаты сотрудникам из ДСФ дают, в основном, кратковременный эффект, постольку с позиций вуза вероятно целесообразно введение каких-то рамочных ограничений по ним.

Итак, рассмотренные подходы могут послужить основой для создания методик рейтингования кафедр и распределения ДСФ между ними.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лакин Г. Ф.* Биометрия – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.

2. О внесении изменений в приказ Минобразования России от 26.02.2001 г. № 631 "О рейтинге высших учебных заведений" – Приказ № 593 Минобразования России от 19.02.2003.

3. Об образовании. – ФЗ № 3266-1 от 10.07.1992 г. (ред. 24.04.2008).

4. *Кулаичев А. П.* Методы и средства комплексного анализа данных. – М.: Форум: Инфра-М, 2006. – 512 с.

5. *Терентьев П. В.* Метод корреляционных плеяд // Вестник Ленинградского университета, 1959 г. № 9. – С. 137–144.

УДК 519.272:378.1

Ю. М. Брумштейн, Н. Н. Пугина, Н. Ф. Мангаладзе, Е. В. Смирнова

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ МЕЖВУЗОВСКОЙ КОНКУРЕНЦИИ ЗА КОНТИНГЕНТ ОБУЧАЮЩИХСЯ НА РЕГИОНАЛЬНОМ РЫНКЕ УСЛУГ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Астраханский государственный университет (brum2003@mail.ru)

Рассмотрены этапы конкуренции вузов за контингент обучающихся. Описан состав конкурентов в пределах региона. Исследованы показатели, которые могут быть использованы для расчетов. Представлены методы оценки напряженности конкуренции в пределах региона по отдельным специальностям вузовской подготовки и всему набору специальностей. Описание методов доведено до конкретных расчетных формул, позволяющих определить соответствующие показатели в скалярной, векторной и матричной формах. Проанализированы методы оценки конкурентной ситуации с позиции отдельного вуза.

Ключевые слова: Вузы. Контингент обучающихся. Региональный рынок. Конкурентная ситуация. Напряженность конкуренции. Методы оценки конкуренции. Формулы для оценки.

U. M. Brumshteyn, N. N. Pugina, N. F. Mangaladze, E. V. Smirnova

INTERUNIVERSITY COMPETITION ESTIMATION METHODS FOR THE HIGHER PROFESSIONAL TRAINING CONTINGENT IN THE REGIONAL MARKET

The work theme urgency is proved. Universities competition stages for a trained contingent are considered. The structure of competitors within region is described. Indicators which can be used for calculations are investigated. Methods of competition intensity estimation within region on separate high school specialities preparation and on all specialities set are presented. The description of methods is finished to the concrete settlement formulas, allowing to define corresponding indicators in scalar, vector and matrix forms. Methods of competitive situation estimation from a position of separate university are analysed.

Universities. A trained contingent. The regional market. A competitive situation. Intensity of a competition. Methods of competition estimation. Formulas for an estimation.

В сфере высшего профессионального образования (ВПО) большинства регионов России сейчас наблюдается значительная конкуренция между учреждениями ВПО (УВПО) за контингент студентов (КС), обучающихся на бюджетной и платной основе [1, 2, 3]. Эта конкуренция проявляется на этапах: довузовской подготовки; в момент приема в УВПО; в процессе обучения (в т. ч. инициативные и вынужденные переходы студентов в другие УВПО). В рыночных условиях задачи количественной оценки внутрирегиональной конкуренции актуальны как с позиций управления системой ВПО в регионах, так и руководства отдельными УВПО.

Конкуренты на внутрирегиональном рынке ВПО: региональные вузы (РВ) – государственные, муниципальные, негосударственные; филиалы РВ (ФРВ); филиалы иногородних вузов (ФИВ), чаще всего негосударственных; другие структуры иногородних вузов (ДСИВ), официально не ведущие в регионе очных занятий (представительства, ДСИВ осуществляющие дистанционное обучение) [2, 3]. Мониторинг деятельности конкурентов можно вести по: данным Госкомстата; информационно-рекламным материалам в средствах массовой информации, в т. ч. объявлениям представительств УВПО; наружной рекламе; буклетам и календарям; выставкам; результатам телефонной обзвонки приемных комиссий УВПО и др.

Показатели напряженности конкуренции (НК) в сфере ВПО региона в целом. Это во-первых П1 – "количество студентов УВПО на 1000 человек населения" ($C_{(1000)}$). В сторону увеличения $C_{(1000)}$ действуют: высокая доля городского и пригородного населения; значительная доля молодежи студенческого возраста в регионе; высокий уровень доходов населения и др. К концу 2007 г. в целом по России $C_{(1000)}$ значительно превосходил этот показатель времен СССР, а доля платного КС по ряду оценок превысила 55 %. Однако, во многих небольших населенных пунктах структуры УВПО не действовали вообще (они нерентабельны при малом КС).

П2. Динамика во времени количества УВПО, действующих в регионе, информативна при относительно стабильной численности населения, что для большинства регионов России выполняется. Для Астраханской области в 1969 г. количество УВПО составляло "6", к 1995 г. оно увеличилось до "12", в 1998 г. достигло "25" [1], к началу 2008 г. – порядка "40". При этом по численности студентов преобладают государственные УВПО.

П3. Отношение количеств УВПО в регионе: РВ ($K_{РВ}$); ФРВ ($K_{ФРВ}$); ФИВ ($K_{ФИВ}$); ДСИВ ($K_{ДСИВ}$) примем в виде

$$D_1 = (K_{РВ} + K_{ФРВ})/(K_{ФИВ} + K_{ДСИВ}) \qquad (1)$$

За счет большого количества ФИВ (особенно московских) D_1 в большинстве регионов России меньше "**1**". Отношение же количеств студентов (**С**)

$$D_2 = (C_{РВ} + C_{ФРВ})/(C_{ФИВ} + C_{ДСИВ}) \qquad (2)$$

обычно выше "**1**", т. к. КС в регионах у ФИВ и ДСИВ – малочисленный (Формулы (1) и (2) можно использовать когда знаменатели ненулевые).

П4. С учетом различий УВПО по студентам-бюджетникам (**Б**) и платным (**П**), будем иметь (с той же оговоркой что и выше)

$$D_2^{(Б)} = (C_{РВ}^{(Б)} + C_{ФРВ}^{(Б)})/(C_{ФИВ}^{(Б)} + C_{ДСИВ}^{(Б)}) \qquad (3)$$

$$D_2^{(П)} = (C_{РВ}^{(П)} + C_{ФРВ}^{(П)})/(C_{ФИВ}^{(П)} + C_{ДСИВ}^{(П)}) \qquad (4)$$

При этом, обычно, $D_2^{(Б)} > D_2$, а $D_2^{(П)} < D_2$, т. к. в ФИВ и ДСИВ в регионах преобладает, как правило, обучение на платной основе.

П5. Среднее число заявлений абитуриентов на одно бюджетное место обучения в УВПО (Z_1) можно использовать для сравнения конкурентной привлекательности УВПО в регионе с такими оговорками: (1) абитуриенты могут подавать заявления сразу в несколько УВПО, в т. ч. ФИВ и УВПО в разных регионах; (2) заявления могут подаваться на бюджетные места с учетом возможности зачисления на платное место (и, редко, вероятности перехода на освобождающееся бюджетное место); (3) для РВ бюджетные места часто выделяются под социально-значимые для региона, но невостребованные у абитуриентов специальности.

Пусть в регионе действуют УВПО в количестве *M*, предлагающие *N* неповторяющихся специальностей. Величина *N* характеризует широту выбора для КС [3]. На практике этот выбор ограничен: отсутствием или малым количеством бюджетных мест по некоторым специальностям; высокой стоимостью платного обучения в ряде УВПО; отсутствием желаемой формы обучения и пр. В [1] была подробно проанализирована конкурентная ситуация в отношении специальностей в г. Астрахани на 2000 г. Сейчас количество предлагаемых специальностей увеличилось (за счет роста числа УВПО и диверсификации их предложений), сокращения числа техникумов, в т. ч. в результате интеграции их с УВПО.

Распределение студентов по специальностям в регионе без учета того, в каких из УВПО они обучаются, опишем вектором $\{W_n\}$

$$\{W_n = 100\% * C_n / \sum_{n=1}^{N} C_n\}_{n=1...N} \qquad (5)$$

Построить аналогичный вектор потребностей региона в специалистах ($\{A_n\}_{n=1...N}$) сложно из-за неточности данных по таким потребностям (особенно на перспективу), несоответствия специальностей подготовки в УВПО и номенклатуры должностей у работодателей и пр. Коэффициент парной корреляции между $\{A_n\}$ и $\{W_n\}$ может служить мерой согласованности деятельности всех УВПО региона и интересов работодателей.

Вектор $\{W_n\}$ не может характеризовать популярности специальностей в регионе, т. к. в нем учтен и бюджетный и платный КС. С некоторыми оговорками сравнение популярности специальностей примем по

$$\{W_n^{П} = 100\% * C_n^{(П)} / (\sum_{n=1}^{N} C_n^{(П)})\}_{n=1...N} \qquad (6)$$

Показатели диверсифицированности специальностей в регионе (*R*):

$$B^{(1)} = N / M \qquad (7)$$

$$B^{(2)} = C_R / N \qquad (8)$$

где C_R – суммарное количество студентов во всех УВПО региона.

Оценка НК в регионе между УВПО в отношении специальностей (без учета различий между стоимостями и формами обучения в УВПО)

$$\Theta_R^{(1)} = T / N \qquad (9)$$

где *T* – сумма количеств специальностей, предлагаемых всеми УВПО, включая повторяющиеся. Содержательный смысл (9) – "среднее количество предложений УВПО в регионе по одной специальности" ($\Theta_R^{(1)} \geq 1$).

Опишем элементами бинарной матрицы $[V_{m,n}]_{m=1...M;n=1...N}$ наличие ("**1**") или отсутствие ("**0**") в *m*-м УВПО *n*-й специальности. Тогда

$$T = \sum_{m=1}^{M} \sum_{n=1}^{N} V_{m,n} \qquad (10)$$

Рассмотрим матрицу $[X]$ "симметричных (двусторонних) индексов конкуренции" (СИК) между *i*-м и *j*-м УВПО [1] с элементами

$$X_{i,j} = X_{j,i} = (100\%) * \Phi_{i,j} / [(S_i + S_j)/2] \qquad (11)$$

где: S_i, S_j – количества специальностей в *i*-м и *j*-м УВПО, а $\Phi_{i,j}$ – количество совпадающих специальностей для этой пары УВПО [1]. Конструкция СИК обеспечивает их нормировку от "**0**" (нет совпадений) до "**100**" (полное совпадение УВПО по набору специальностей). На главной диагонали симметричной матрицы $[X]$ размерностью **M*M** стоят "**100**".

С использованием (11) можно дать (при $M > 1$) альтернативную по отношению к (9) оценку НК между УВПО в отношении специальностей

$$\Theta_R^{(2)} = (\sum_{m=2}^{M}\sum_{j=1}^{m-1} X_{m,j})/((M*M-M)/2) \quad (12)$$

Понятно, что $0 \le \Theta_R^{(2)} \le 100$. Содержательный смысл $\Theta_R^{(2)}$ – среднестатистический процент повторяющихся специальностей в номенклатуре специальностей УВПО региона. С учетом различий количеств студентов в УВПО (в т. ч. на совпадающих специальностях – $C_i^{(\Phi)}; C_j^{(\Phi)}$) важен показатель

$$\Theta_R^{(2C)} = (\sum_{m=2}^{M}\sum_{j=1}^{m-1} Y_{m,j})/((M*M-M)/2) \quad (13)$$

$$Y_{i,j} = Y_{j,i} = 100\%*(C_i^{(\Phi)} + C_j^{(\Phi)})/[C_i + C_j] \quad (14)$$

Конструкция (14) не учитывает того, по скольким специальностям есть совпадение для данной пары УВПО. Поэтому введем матрицу комплексных чисел H размерностью **M*M** с элементами

$$H_{i,j} = H_{j,i} = X_{i,j} + iY_{i,j} \quad (15)$$

характеризующими совпадения УВПО по специальностям и студентам. При этом интегральное совпадение между профилями специальностей УВПО (с учетом того, что $X_{i,j}; Y_{i,j}$ выражены в " %"), можно оценить как

$$\Delta_{i,j} = \sqrt{\left((X_{i,j})^2 + (Y_{i,j})^2\right)}/\sqrt{2} \quad (16)$$

Конструкция (16) обеспечивает $\Delta_{i,j} = \eta\%$ при $\eta\%$-х совпадениях для двух УВПО по специальностям и студентам, в т. ч. $\Delta_{i,j} = 100\%$ и 0% при полных совпадении и несовпадении "специальностей – студентов".

Если в ортогональных осях отметить точки $\{X_{i,j}, Y_{i,j}\}$, соответствующие нижним треугольникам матриц $[X]; [Y]$, то они лягут в первом квадранте с разбросом по отношению к биссектрисе угла. Коэффициент парной корреляции по Пирсону между "*x-y*" координатами этих точек будет больше "0", но не всегда близок к "1".

Понятно, что в формуле (13) $0 \le \Theta_R^{(2C)} \le 100$, а содержательный смысл этого показателя – "среднерегиональный для всех УВПО процент студентов, обучающихся на совпадающих специальностях".

С учетом различий в формах обучения (очная – "*О*", заочная – "*З*", дистанционная – "*д*",) по аналогии с (11) и (14) для оценки конкуренцию между УВПО в соответствующих сегментах рынка могут быть использованы матрицы совпадений по отдельным формам обучения

$$\{X_{i,j}^{(\beta)} = X_{j,i}^{(\beta)} = 100\%*(\Phi_{i,j}^{(\beta)})/[S_i^{(\beta)} + S_j^{(\beta)}\}_{\beta=o;з;д} \quad (17)$$

$$\{Y_{i,j}^{(\beta)} = Y_{j,i}^{(\beta)} =$$

$$= 100\%*(C_i^{(\Phi),(\beta)} + C_j^{(\Phi),(\beta)})/[C_i^{(\beta)} + C_j^{(\beta)}\}_{\beta=o;з;д} \quad (18)$$

[(17) и (18) могут быть представлены и как трехмерные матрицы].

Конкурентная ситуация с позиций отдельного УВПО. Для *i*-го УВПО доля его присутствия на региональном рынке специальностей [1]

$$D_i^{(s)} = 100\%*S_i/N \quad (19)$$

где S_i – количество специальностей, предлагаемых *i*-м УВПО. Анализ $D_i^{(s)}$ в 2001 г. показал [1], что только для трех УВПО в г. Астрахани этот показатель был выше 10 % (в 2007 г. – уже для двух).

Аналогичная (19) оценка в отношении количества студентов

$$D_i^{(c)} = 100\%*C_i/C_R \quad (20)$$

Для профиля набора специальностей в регионе в целом ($\{\varphi\}_{n=1...N}$)

$$\varphi_n = F_n/T \quad (21)$$

где F_n – сколькими УВПО региона предлагается *n*-я специальность. Дадим оценку совпадения набора специальностей *i*-го УВПО с региональным профилем в виде коэффициента корреляции по Пирсону двух числовых рядов длиной S_i. Первый ряд соответствует *i*-му УВПО и содержит только "**1**". Второй – это выборка из $\{\varphi\}_{n=1...N}$ по набору специальностей λ_i соответствующих *i*-му УВПО. Понятно, что $\varphi_n < 1$.

Уровни НК по отдельным специальностям для *i*-го УВПО характеризуют вектора количеств совпадений в его наборе специальностей с другими УВПО региона $\{Q_{i,g}\}_{g=1...\lambda_i}$, где $Q_{i,g}$ – целые и $0 \le Q_{i,g} \le M-1$.

Представляет интерес и сравнение УВПО по долям $\{D_m^{(\xi)}\}_{m=1...M}$ ($\xi = s$ или $\xi = c$) специальностей, которых нет в других УВПО.

Для *i*-го УВПО важнее не СИК [см формулу (11)], а "несимметричный (односторонний) индекс конкуренции" (НИК) с *j*-м УВПО [1]

$$\omega_{i,j} = (100\%)*\Phi_{i,j}/S_i. \quad (22)$$

Понятно, что $0 \le \omega_{i,j} \le 100\%$, причем для многих ФИВ, ведущих обучение по набору специальностей "юристы + экономисты + психологи", часто $\omega_{i,j} = 100\%$ (или близок к 100 %) в отношении других ФИВ гуманитарного про-

филя и некоторых РВ. Высокие $\omega_{i,j}$ указывают на прямых конкурентов данного УВПО в регионе. Для государственных РВ (они, как правило, крупные) $\omega_{i,j}$ значительно меньше 100 %, причем в технических вузах обычно ниже чем в университетах. В последних больше специальностей гуманитарного направления, по которым на региональных рынках ВПО активно работают ФИВ. Отметим, что для УВПО медицинского направления почти во всех городах России $\omega_{i,j} = 0\%$.

Оценка средней конкуренции *i*-го УВПО по всем специальностям со всеми другими УВПО в регионе

$$\Psi_{i,R} = (\sum_{j=1, j\neq i}^{M} \omega_{i,j})/(M-1);\ 0 \le \Psi_{i,j} \le 100\% \quad (23)$$

Для формул (21)…(23) также могут быть записаны аналоги в отношении количеств студентов (вместо специальностей).

Итак, рассмотренные методы позволяют оценить не только конкурентную ситуацию в целом на региональном рынке ВПО, но и конкурентные позиции конкретных УВПО. В дальнейшем авторы планируют дополнительно учесть различия между УВПО в стоимости обучения, уровнях требований к посещаемости и знаниям, форме и продолжительности обучения, виду подготовки (бакалавр, специалист, магистр). Это позволит сформулировать более объективные оценочные показатели и, в конечном счете, грамотней решать вопросы, связанные с формированием/корректировкой в УВПО номенклатуры специальностей, соотношением по ним бюджетных и платных мест, уровнями оплаты и сроками обучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Брумштейн Ю. М.* Возможности математических методов анализа структуры регионального рынка образовательных услуг в отношении высшего профессионального образования (на примере Астраханской области). Астраханский социальный институт – филиал Московского открытого социального университета, Астрахань, 2001. – 34 с.: Библиогр.: 5 назв. – Деп. в ВИНИТИ 25.10.2001, № 2231-В2001.

2. *Брумштейн Ю. М., Пугина Н. Н.* Анализ конкурентной среды регионального вуза // Проблемы экономики № 4, 2006, С. 197–198.

3. *Геворкян Е. Н.* Рынок образовательных ресурсов: аспекты модернизации – М.:изд. Московского психолого-социального института; Воронеж: Издательство НПО "МОДЭК", 2006. – 384 с.

УДК 621.002:658.3

Ю. М. Брумштейн, Г. З. Суфиева, Е. В. Цырульников, В. П. Белоброва

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗОВ ПРОГРАММНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Астраханский государственный университет (brum2003@mail.ru)

Показана роль программных средств в обеспечении учебного процесса и управления вузом. Подробно проанализированы основные категории программных средств, используемых в вузах. Рассмотрены подходы к оценке эффективности получения программных средств извне или самостоятельной разработке. Выполнен анализ ситуации, ранее существовавшей в вузах с использованием программного обеспечения. Исследованы изменения политики, связанные с усилением контроля за применением нелицензионных программных средств. Предложены методы количественной оценки эффективности решений в отношении использования в вузах программных средств.

Ключевые слова: Вузы. Программные средства. Категории программных средств. Направления использования. Методы обеспечения. Способы оценки эффективности затрат. Формулы для оценки.

U. M. Brumshteyn, G. Z. Sufieva, E. V. Cirulnikov, V. P. Belobrova

THE DIRECTIONS AND METHODS ANALYSIS FOR UNIVERSITIES SOFTWARE ENSURING

The software role in maintenance of educational process and university management is shown. The software basic categories used in universities are analysed in detail. Approaches to an efficiency estimation of software reception from the outside or independent working out are considered. The situation analysis, existing before in universities with used software is made. The policy changes, connected with control strengthening over using counterfeit software, are investigated. Methods for quantitative estimation of decisions efficiency, concerning software using in universities, are offered.

Universities. Software. Categories of software. Directions of using. Maintenance methods. Ways of an expenses efficiency estimation. Estimation formulas.

В вузах России программные средства (ПС) используются для менеджмента, в учебном процессе, научной работе и т. д. Их номенклатура и количество влияют на конкурентоспособность вузов (на рынке образования) и их выпускников (на рынке труда). Эффективность затрат на обеспечение вузов ПС определяется принимаемыми решениями [3] и их практической реализацией. Цели данной статьи: исследование особенностей различных категорий

ПС; качественный анализ стоимостей владения ими; анализ факторов, влияющих на принятие решений, связанных с ПС; разработка подходов к оценке вероятной результативности решений.

Основные категории ПС в вузах, методы их создания и получения

Используемые в вузах и потенциально доступные ПС разделим на две категории – (1) создаваемые внутри вузов и (2) получаемые извне.

Создание ПС возможно по инициативе студентов/сотрудников или по заданию вуза (заказные разработки). Исключительные права (ИП) на ПС переходят к вузам если: ПС являются "*служебными произведениями*" или "*заказными разработками*"; ИП на ПС переданы от разработчиков к вузам по договорам. Личные неимущественные права на ПС сохраняются за их авторами. Те ПС, на которые вузы обладают ИП, могут быть предметом обмена (в т. ч. межвузовского) и коммерческого распространения.

Типы используемых легитимных копий ПС (ЛКПС) категории "2": [1] бесплатно распространяемые ПС (БРПС); условно-бесплатные; коммерческие (покупные). В авторском праве "*распространение*" обычно увязывается с передачей "*материальных копий*" – например, лазерных дисков (ЛД) с ПС. Однако сейчас БРПС чаще скачиваются из Интернет в электронной форме. Демоверсии коммерческих ПС обычно бесплатны, имеют ограничения по функциональности, но в ряде случаев вполне приемлемы для учебных целей. Некоторые ПС бесплатны для учебных целей, но платны для коммерческих. Условно-бесплатные ПС обычно имеют ограничения по срокам эксплуатации или количеству запусков. Они достаточны для лекционных демонстраций, но не создания лабораторного практикума.

Покупка вузом коммерческих ПС приводит к получению прав на их неисключительное использование. В лицензионных соглашениях (ЛС) оговариваются ограничения: количество инсталлированных копий ПС на ПЭВМ вуза; для сетевых версий – число одновременно работающих с ПС пользователей; редко – календарные сроки использования ПС.

Будем различать ЛКПС и нелегитимные копии ПС (НКПС). Этот термин удачнее, чем "нелицензионные ПС", т. к.: хорошо описывает использование "сверхнормативных" копий легально купленных ПС; многие БРПС распространяются без ЛС, но используются вполне легитимно.

Для вузов возможна и аренда ПС – с дистанционным доступом к ним на серверах разработчиков или организаций, имеющих соответствующие ЛС. В России вариант аренды ПС пока редок – в основном из-за высокой стоимости трафика. Удаленный доступ к ПС на серверах вузов может быть открыт и для студентов-заочников/дистанционщиков.

Обычно ПС приобретаются у разработчиков или распространителей (дилеров), в т. ч. в рамках "корпоративных ЛС" (КЛС). Скидки при покупке большого числа копий ПС делают эффективными закупки партий ПС головными вузами сразу и "для себя" и для филиалов. Поскольку OEM-версии ПС считаются частью ПЭВМ, постольку очевидно законна не только передача ПЭВМ с ПС в филиалы (юридически – они часть вузов), но и продажа ПЭВМ с такими ПС другим организациям.

На практике в вузах (особенно негосударственных) применяются также и НКПС, на которые "завязаны": рабочие программы по учебным дисциплинам; фонды литературы в библиотеках вузов; методические разработки сотрудников вузов, в т. ч. электронные учебники; тестовые материалы и пр. Источники НКПС [1]: Интернет; "пиратские" ЛД; копии, приносимые в вузы студентами, аспирантами, сотрудниками и др.

Владение ПС включает в себя: (**А**) стоимость получения; (**Б**) стоимость внедрения; (**В**) эксплуатационные расходы. Варианты расходов для "А": цена покупки; стоимость заказной разработки; цена поиска необходимой ПС; стоимость скачивания в электронной форме и пр. Типы расходов для "Б": переобучение сотрудников; замена литературы и пр. Эксплуатационные расходы ("В"): сопровождение ПС; получение обновлений; приобретение и обслуживание компьютерной техники для ПС и др.

Анализ существовавшей ранее ситуации с использованием ПС в вузах

В вузах и ранее использовались ЛКПС – особенно операционные системы (ОС) Windows (версии 3.11, 98, 2000, XP) – как правило русифицированные. Это связано с: "привязкой" большинства современных прикладных ПС (ППС) именно к Windows; относительно низкими ценами на эти ОС в рамках "академических" лицензий и др. Бесплатная альтернатива ОС Windows в виде ОС Linux применялась достаточно редко – главным образом в рамках спецкурсов по информационным технологиям.

Использовались и другие ПС фирмы Microsoft, особенно пакет Microsoft Office. Несмотря на низкие цены "академических" ЛКПС, в вузах обычно эксплуатировалось бóльшее количество копий этого ПС, чем было предусмотрено КЛС. Такая же ситуация была характерна и для многих ПС специального назначения – например, дорогостоящих ПС для САПР. Альтернативные БРПС в вузах почти не использовались, т. к. априорно (и не всегда верно) считалось, что у них худшая функциональность.

Программы фирмы "**1С**" в последние годы стали стандартом де-факто в сфере бухучета России. В вузах они применяются для менеджмента и обучения. Несмотря на доступность НКПС, в вузах обычно используются ЛКПС, т. к. их покупная цена составляет лишь небольшую часть стоимости владения, включающей еще: систематическую установку обновлений; информационно-техническую поддержку эксплуатации ПС; обучение и сертификацию специалистов по ПС фирмы 1С, обычно через авторизованные центры фирмы "**1С**" (в последних почасовая стоимость обучения/сертификации превосходит цены платного обучения в региональных вузах по большинству специальностей на порядок и более).

В вузах широко используются (в т. ч. и в учебном процессе) лицензионные информационно-справочные системы (ИСС), прежде всего "Консультант+" и "Гарант", т. к. цены на приобретение и обслуживание этих ИСС для вузов очень льготные. Фирма "Гарант" также выпускает усеченные (студенческие) версии своих ИСС на ЛД по низким ценам.

В целом расходы вузов на приобретение ЛКПС были ранее невелики (много ниже, чем на покупку ПЭВМ и серверов, их техобслуживание).

При использовании в вузах НКПС, они часто устанавливались на все ПЭВМ, где могли эксплуатироваться – пусть даже и очень редко. Поэтому набор ПС на ПЭВМ носил очень обширный, "универсальный" характер. Это облегчало: планирование учебных расписаний, т. к. можно было свободно маневрировать размещением групп различных специальностей и курсов по компьютерным классам; техническое обслуживание ПЭВМ; развертывание ПС на учебных ПЭВМ из "образов жестких дисков".

В большинстве случаев на ПЭВМ устанавливались автономные версии НКПС, а не сетевые, т. к. использование последних при ограниченной пропускной способности локальных вычислительных сетей и невысоком быстродействии серверов часто серьезно тормозило работу пользователей.

Ранее в большинстве вузов их руководство достаточно терпимо относилось к использованию НКПС. Однако после усиления мер контроля за НКПС, при принятии решений начали учитываться и риски наказаний – особенно руководителей вузов и отдельных подразделений.

Состав используемых в вузах ПС в значительной степени определяет и набор ПС на домашних ПЭВМ студентов/сотрудников. На практике это нередко стимулирует их к использованию НКПС.

Изменения политики, связанные с усилением контроля за НКПС

Эти изменения отличаются для: руководства вузов; отдельных сотрудников и их групп; студентов; аспирантов и т. д. Факторы, влияющие на решения: зависимость решений от стоимости ПС; объемы ответственности за использование НКПС; степень заинтересованности в ПС, в т. ч. и НКПС.

Рассмотрим возможные направления изменений политики.

(1) Увеличение расходов на приобретение ЛКПС с максимальным использованием льгот для вузов, студентов. (2) Интенсификация поиска БРПС и расширение их использования. Например, замена ПС Microsoft Office на Open Office (www.openoffice.org), близкий по функциональным возможностям. (3) Увеличение объемов разработки ПС (особенно учебного назначения) в вузах или по их заказам, в т. ч. путем материального стимулирования сотрудников и аспирантов. (4) Увеличение объемов регистрации разработанных ПС как "объектов интеллектуальной собственности" в Роспатенте, что дает возможность легальной торговли (обмена) такими объектами. (5) Расширение обмена разработанными ПС между вузами, не являющимися прямыми конкурентами в регионах. (6) Использование НКПС на личных ноутбуках преподавателей и студентов во время занятий в вузах и дома. (7) Применение в вузах НКПС на переносных винчестерах (подключаемых по технологии Mobile Rack или через USB порты) и флэш-накопителях (ФН). Быстрый рост емкостей ФН объективно может привести к расширению использования: ФН вместо штатных жестких дисков ПЭВМ; ФН с ПС, не требующих их инсталляции на ЭВМ. (8) Расширение "задействования" НКПС на домашних настольных ПЭВМ: студентов; аспирантов, со-

трудников вуза. (9) Увеличение объемов использования ЛКПС на ПЭВМ "базовых кафедр", созданных на предприятиях. (10) Переход в ряде случаев к использованию сетевых версий ПС вместо автономных, что обеспечит меньшую себестоимость ПС в расчете на одно рабочее место (РМ) и даст возможность эксплуатировать их на б*о*льшем числе РМ, чем указано в ЛС – за счет неодновременного использования. (11) Применение "тонких клиентов" вместо обычных настольных ПЭВМ. (12) Оптимизация размещения ЛКПС по компьютерным классами для увеличения долей времени их эксплуатации на ПЭВМ. (13) Исключение из учебного процесса вузов дорогостоящих специализированных ПС профессионального класса (САПР, геоинформационные системы, часть серверных ПС и пр.). Как следствие, обучение студентов работе с такими ПС может переместиться из вузов в платные специализированные учебные центры, организации – базы производственной практики и пр. (14) Усиление внимания к управленческому учету используемых ЛКПС, а также т. н. "управлению лицензиями". Оно включает: отслеживание "не превышения" количеств предусмотренных КЛС эксплуатируемых копий; анализ и реализацию возможностей получения льгот, скидок, опциональных возможностей при покупке дополнительных ЛКПС, новых версий ПС, дополнений к ним и пр. (15) Снижение расходов путем приобретения ПЭВМ с OEM-ными версиями ЛКПС. Но в долговременном плане это может быть неэффективным, т. к. для таких версий ПС не допускается их перенос на другие ПЭВМ. Указанный фактор может быть существенен для ПЭВМ, вводимых в эксплуатацию на замену вышедших из строя или морально устаревших.

Методы оценки эффективности решений в отношении ПС в вузах

Для руководства вузов за **G** лет оптимально [2] решение с $\max(\Omega_1)$;

где: $$\Omega_1 = \sum_{g=1}^{G} D_g * R_g \qquad (1)$$

Здесь для *g*-го года R_g – разница "положительный эффект–затраты"; D_g – коэффициент дисконтирования; Ω – сумма дисконтированных разниц.

Для каждого из **g = 1…G** годов возможны различные варианты политик в виде наборов $\{P_{n,g}\} n = 1...N_g$, где N_g – количество возможных политик для *g*-го года. Результативность политики *g*-ого года (R_g зависит и от фактически реализованных политик предшествующих лет (1…*g*-1), т. е.

$$R_g = f\left(P_{n_1}...P_{n_g}\right) \qquad (2)$$

где: *f* – символ функциональной зависимости; n_* – номера вариантов политики, реализованные в годах "1… *g*". Для анализа разделим все ПС на 6 групп: (1) – автономные ЛКПС; (2) – сетевые ЛКПС; (3) – автономные НКПС; (4) сетевые НКПС; (5) – автономные БРПС; (6) – сетевые БРПС. Для каждой из групп нужно учесть положительные эффекты (*E*) от использования ПС и затраты (*Z*). Риски наказаний за применение НКПС 3 и 4-й групп ($\Psi_g^{(3+4)}$) согласно Уголовному Кодексу РФ нелинейно зависят (функция *Ф*) от суммарной стоимости ЛКПС ($S_g^{(3+4)}$), соответствующих НКПС. С учетом вероятностей реализации наказаний (P_g) риски по НКПС

$$\Psi_g^{(3+4)} = P_g \Phi(S_g^{(3+4)}) \qquad (3)$$

При учете стоимостей перехода с ПС одних групп на другие ("*T*")

$$R_g = (\sum_{m=1}^{6}(E_g^{(m)} - Z_g^{(m)})) - \Psi_g^{(3+4)} - \\ -\sum_{m=1}^{6}\left(\sum_{j=1(j\neq m)}^{6} T_{m\to j}\right) \qquad (4)$$

Для автономных ЛКПС ($m = 1$) в простейшем случае

$$E_g^{(1)} = \sum_{i=1}^{I_g^{(1)}} K_g^{(1),(i)} V_g^{(1),(i)} \; ; \; Z_g^1 = \sum_{i=1}^{I_g^{(1)}} \sum_{l=1}^{L1} Z_g^{(1),(i),(l)} \qquad (5)$$

где: $K_g^{(1),(i)}$ – количество копий *i*-го ПС; $V_g^{(1),(i)}$ – положительный эффект на одну копию для *i*-го ПС; $I_g^{(1)}$ – количество видов ПС 1-й группы, эксплуатируемых в *g*-м году; *L*1 – количество видов затрат на ПС (приобретение, установка, эксплуатация, обновления). Для сетевых ЛКПС

$$E_g^{(2)} = \sum_{i=1}^{I_g^{(2)}} K_g^{(2),(i)} V_g^{(2),(i)} \; ; \; Z_g^{(2)} = \sum_{i=1}^{I_g^{(2)}} \sum_{l=1}^{L2} Z_g^{(2),(i),(l)} \qquad (6)$$

где $K_g^{(2),(i)}$ – общее количество РМ, где эксплуатируются ПС. Для НКПС (3,4 группы) и БРПС (5, 6 группы) формулы аналогичны (5)–(6), но меняется состав затрат (получение, установка, эксплуатация, обновления).

В рамках модели по (4) стоимости перехода "*T*" включают затраты на: приобретение лите-

ратуры; разработку/переработку методических пособий, электронных учебников, тестов; переучивание сотрудников и пр.

В общем случае при принятии решений по ПС участвует не только руководство вуза, но и другие группы лиц (преподаватели, аспиранты, студенты и пр.). Пусть уровни влияния (λ) на решения по ПС: для руководства вуза (λ_1), а других групп – $\{\lambda_\beta\}_{\beta=2...B}$. Тогда вместо (1) имеем $\max(\Omega^*)$;

где $$\Omega^* = (\sum_{\beta=1}^{B} \lambda_\beta \Omega_\beta)/(\sum_{\beta=1}^{B} \lambda_\beta) \qquad (7)$$

Предложенные подходы могут быть обобщены на случаи: изменений во времени нужного количества копий ПС; вероятностного характера значений положительных эффектов и затрат по годам и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Брумштейн Ю. М., Кириллов А. Н., Сепкулов Т. И.* Анализ основных объектов авторского права в инфокомной сфере России // Интеллектуальная собственность. Авторское право. № 12, 2006 г., С. 20–29.

2. *Ширяев В. И., Баев И. А., Ширяев Е. В.* Экономико-математическое моделирование управления фирмой. – М.: Комкнига, 2007. – 224 с.

3. *Черноруцкий И. Г.* Методы принятия решений. – Спб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

УДК 681.3

П. Н. Воробкалов, О. А. Шабалина

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ

Волгоградский государственный технический университет (pavor84@mail.ru, shabalina@cad.vstu.ru)

В статье описывается метод оценки качества электронных обучающих систем, использующий моделирование процесса обучения и критерии качества. Описана модель процесса обучения на основе цветной сети Петри. Показана реализация метода в автоматизированной системе QuAdS. Приведены результаты апробации метода и критериев оценки качества.

Ключевые слова: e-learning, электронная обучающая систем, оценка качества, многослойный подход, критерий качества.

Pavel Vorobkalov , Olga Shabalina

METHOD OF E-LEARNING SYSTEMS QUALITY AUTOMATED ESTIMATION

The method of quality estimation using learning process modeling and quality criteria are suggested. The learning process model based on extended colored stochastic Petri net is described. The method has been implemented in the automated system of quality estimation of e-learning systems named “QuAdS”. Results of approbation of the developed method and quality criteria are shown.

e-learning, adaptive learning systems, quality estimation, layered approach.

В настоящее время происходит активное развитие дистанционного обучения. Это обуславливает появление большого количества электронных обучающих систем и других инструментальных средств. Электронная обучающая система представляет пользователю обучающие материалы и затем производит контроль его знаний с использованием тестовых заданий. С учетом современных требований, предъявляемых к специалистам, процесс обучения все более усложняется, требования к используемым средствам обучения повышаются. Электронные обучающие системы усложняются, в них появляется возможность построения стратегии обучения индивидуально для каждого обучаемого (так называемые адаптивные обучающие системы). При этом встает вопрос о качестве обучения с использованием таких систем.

Под качеством обычно понимают совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности [1]. Однако если потребителя интересует только констатация качества продукта, разработчика интересует также информация о причинах недостаточного качества.

Существующие методы оценки качества электронных обучающих систем можно разделить на две группы. Методы первой группы используют подход к оценке качества электронной обучающей системы в целом. Модель системы в данном случае представляет собой модель "черного ящика". Оценка качества обучающей системы в целом осуществляется на основе определения значений ее общих критериев качества (производительность, безопасность и т. д.), анализа отзывов пользователей, статистического анализа результатов обучения в системе и на основе проверки соответствия стандартам (сертификации). У данного подхода имеется два недостатка: оценка качества в нем производится только на этапе внедрения системы, когда уже существует тестовая версия программного продукта; предоставляемой инфор-

мации часто недостаточно для улучшения системы. Представление обучающей системы как "белого ящика" способно решить последнюю проблему. Этот принцип лег в основу так называемого "многослойного" подхода [2]. В данном подходе процесс человеко-машинного взаимодействия разбивается на различные стадии (так называемые слои), которые затем оцениваются в отдельности по различным критериям. Данная модель электронной обучающей системы представляет систему только на высоком уровне. При применении этого подхода необходимо учитывать особенности каждой электронной обучающей системы, так как в разных системах применяются различные модели и механизмы функционирования. Кроме того, определение большинства критериев связано с обработкой больших массивов данных, и их расчет занимает большое количество времени. Поэтому необходима разработка инвариантного автоматизированного метода оценки качества, позволяющего выделять недостатки оцениваемой системы.

В работе [3] изложен метод оценки качества, позволяющий производить оценку качества как на ранних этапах разработки системы, так и на стадиях внедрения и эксплуатации.

Предлагаемый метод оценки качества электронных обучающих систем включает в себя следующие шаги:

1) Расчет априорных критериев оценки качества электронной обучающей системы.

2) Анализ результатов априорной оценки качества и внесение изменений в электронную обучающую систему.

3) Сбор данных о процессе обучения в системе тестовой группой достаточного для получения достоверного результата размера.

4) Автоматическое построение модели процесса обучения в электронной обучающей системе с использованием автоматизированной системы оценки качества.

5) Идентификация концептов курса с низким качеством обучения.

5) Расчет критериев оценки качества и анализ качества процесса обучения.

7) Модернизация обучающего курса по результатам анализа.

8) Верификация внесенных изменений в обучающий курс.

Оценка качества на ранних этапах разработки обучающей системы очень важна, так как решения на данных этапах определяют качество конечного продукта. Критичным для электронных обучающих систем является создание модели обучаемого. Для ее оценки на этапе разработки предложены два критерия: адекватность модели обучаемого, чувствительность модели обучаемого.

Значение критерия адекватности модели обучаемого в электронной обучающей системе представляет собой оценку надежности измерения каждой характеристики обучаемого. Чувствительность модели обучаемого характеризуется величиной изменений характеристик обучаемого в модели при изменении результатов обучения.

Для оценки качества на этапе внедрения и эксплуатации разработана модель процесса взаимодействия обучающего с системой, а также критерии оценки качества электронных обучающих систем для этого этапа. При разработке модели процесса обучения в электронной обучающей системе были проанализированные различные виды моделей. В результате анализа была выбрана модель на основе сети Петри, так как она позволяет описать качественные и количественные характеристики процесса обучения, может быть наглядно представлена и построена автоматически.

Для оценки построенной модели разработаны различные критерии. Разработанные критерии можно разбить на следующие группы:

1. Критерии, основанные на количественных характеристиках графа сети Петри:

а) число позиций сети Петри;

б) число переходов сети Петри;

в) число дуг сети Петри;

г) число всех возможных путей;

д) отношение числа путей к числу позиций;

е) связность графа сети Петри.

2. Критерии, основанные на статистических атрибутах переходов стохастической сети Петри:

а) средний уровень знаний концепта;

б) степень интегрированности концепта в обучающий курс;

в) степень взаимосвязи между концептами обучающего курса.

3. Критерии, основанные на результатах моделирования с использованием полученной модели процесса обучения:

а) средний уровень конечных знаний обучаемого;

б) доля правильных решений изменения стратегии обучения.

Разработанный метод оценки качества был применен для оценки трех обучающих систем на различных этапах жизненного цикла.

С использованием априорных критериев качества была произведена оценка адаптивной обучающей системы, основанной на использовании сети Бейеса [4]. Для применения критерия адекватности модели обучаемого были составлены множества характеристик модели обучаемого и технологий адаптации. Была произведена оценка зависимостей реализации технологий адаптации от характеристик модели обучаемого, в результате выявлена неполнота модели обучаемого. Выявленный недостаток был исправлен, что позволило повысить качество адаптивной обучающей системы.

Оценка чувствительности модели обучаемого данной адаптивной обучающей системы к колебаниям данных о текущем уровне знаний обучаемого показала, что модель на сети Бейеса позволяет адаптироваться к процессу обучения с учетом стабильности показываемых результатов обучения. Чем выше стабильность результатов обучаемого, тем меньше отклонения от ожидаемых результатов влияют на оценку уровня знаний. Таким образом, применение априорных критериев позволяет оценить модель обучаемого на этапе проектирования системы.

С помощью автоматизированной системы оценки качества была проведена оценка двух действующих обучающих систем.

Для оценки качества обучающей системы "CALMAT" был выбран курс математики, который используется для обучения по специальности "Биология и медицина" в Калидонском Университете г. Глазго. В качестве исходных данных для оценки качества были взяты данные о прохождении обучающего курса шестью группами общей численностью 51 человек. Собранные исходные данные были преобразованы в формат системы оценки качества и на основе их была построена модель процесса обучения.

Применение оценки уровня знания (рис. 1), критериев степени интегрированности концептов (рис. 2) и взаимосвязей концептов (рис. 3) позволило определить требуемые изменения в предметной области.

С помощью автоматизированной системы оценки качества проведена оценка качества адаптивной обучающей системы "AHA!", модели адаптации которой основаны на правилах. Была построена модель процесса обучения на основе данных о процессе обучения 20 студентов по курсу "Теоретические основы автоматизированного управления". Был проведен анализ по уровню знаний (рис. 4), степени итегрированности (рис. 5) и взаимосвязи концептов (рис. 6).

По результатам применения критериев были выделены эффективные стратегии адаптации (рис. 7). Проведенный анализ позволил выявить недостатки обучающего курса и предложить решения по их устранению.

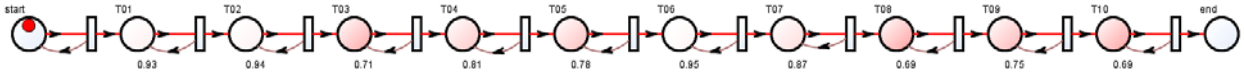


Рис. 1. Результаты идентификации недостатков концептов обучающего курса системы "CALMAT" с помощью критерия уровня знаний

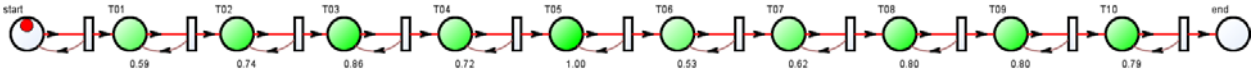


Рис. 2. Результаты расчета интегрированности концептов обучающего курса системы "CALMAT"

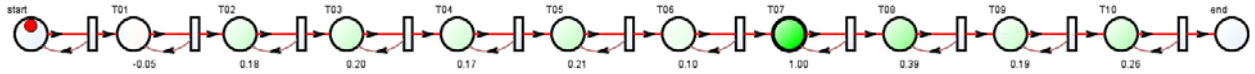


Рис. 3. Результаты расчета взаимосвязей концептов обучающего курса системы "CALMAT"

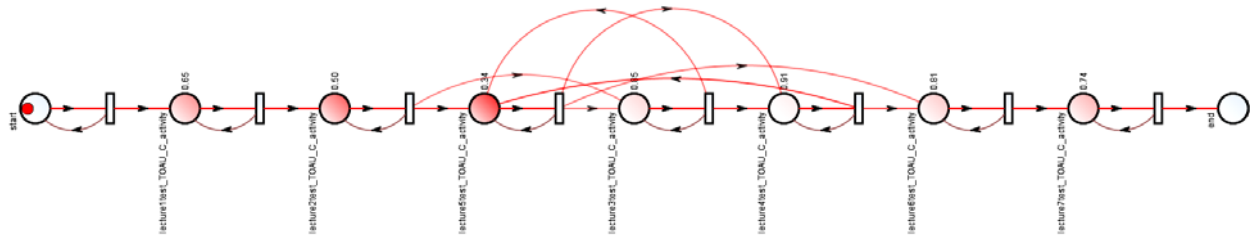


Рис. 4. Результаты идентификации недостатков концептов обучающего курса системы "AHA!" с помощью критерия уровня знаний

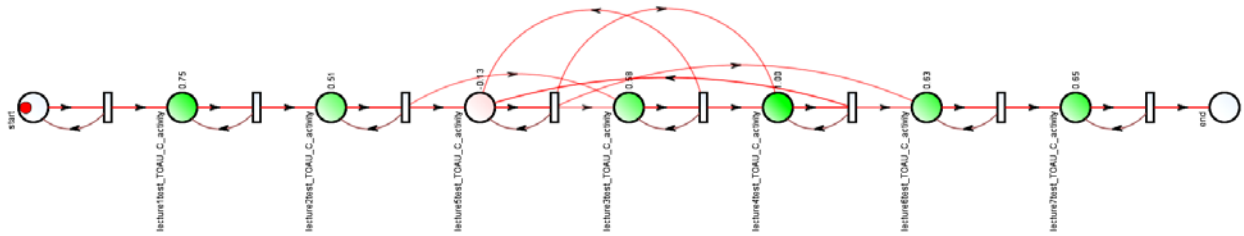


Рис. 5. Результаты расчета интегрированности концептов обучающего курса системы "АНА!"

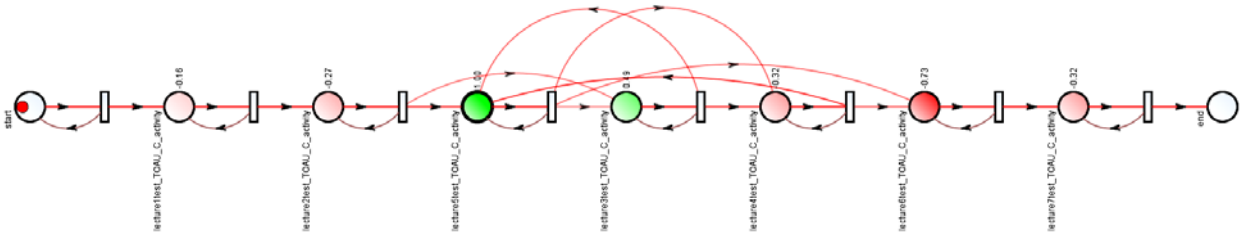


Рис. 6. Результаты расчета взаимосвязей концептов обучающего курса системы "АНА!"

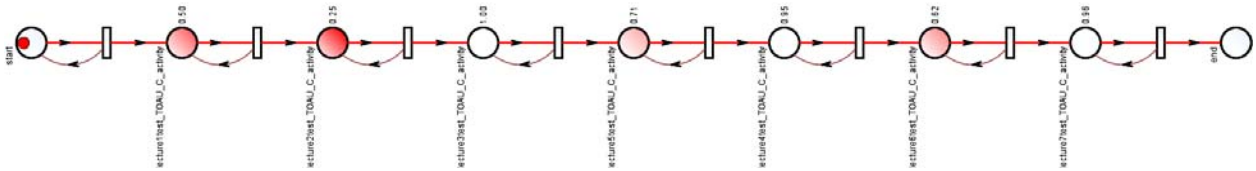


Рис. 7. Наиболее эффективные стратегии адаптации системы "АНА!"

Таким образом, разработанные метод оценки качества и автоматизированная система оценки качества позволяют повышать эффективность электронных обучающих систем за счет оценки их качества на всех этапах жизненного цикла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Системы менеджмента качества. ТРЕБОВАНИЯ: Издание официальное: ГОССТАНДАРТ РОССИИ. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

2. *Brusilovsky, P.* Layered evaluation of adaptive learning systems / P. Brusilovsky, C. Karagiannidis, D. G. Sampson // Int. J. of Continuing Engineering Education and Lifelong Learning. – 2004. – Vol. 14, № 4/5. – P. 402-421.

3. *Воробкалов, П. Н.* Метод автоматизированной оценки качества адаптивных обучающих систем / П. Н. Воробкалов, О. А. Шабалина // Открытое образование: прил. к журн.: по матер. XXXIII межд. конф. и IV межд. конф. мол. уч. IT + S&E'06 (Ялта-Гурзуф, Крым): Инф. технол. в науке, образов., телекоммуникации и бизнесе. – 2006. – б/н (май). – С. 423–424.

4. *Шабалина, О. А.* Модель пользователя для изучения языков программирования в адаптивной обучающей системе / О. А. Шабалина // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – № 02. – С. 36–39.

УДК 378

В. Б. Головкина

УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ НА КАФЕДРЕ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБУЧЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ КАФЕДРЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКИ)

ГТУ Московский институт стали и сплавов (МИСиС) (v.golovkina@bk.ru)

Предложен один из подходов к созданию системы менеджмента качества на одной из базовых кафедр технологического университета. Кафедра за сравнительно короткое время была оснащена современным компьютерным и периферийным оборудованием, а также оригинальным программным обеспечением, что позволило быстро провести реорганизацию учебного процесса и вплотную подойти к обеспечению качества как обучения, так и учения студентов с учётом требований Болонского процесса. В дальнейшем предполагается провести комплекс различных исследований с целью реализации поставленных задач.

Ключевые слова: менеджмент качества, учебный процесс.

V. B. Golovkina

INNOVATION EDUCATIONAL PROCESS CONTROL IN DEPARTMENT FOR THE PURPOSE OF ASSURING QUALITY OF EDUCATION (BY THE EXAMPLE OF DEPARTMENT OF ENGINEERING GRAPHIC ARTS)

One of approaches to creation of system of a quality management on of base department of technological university is offered. The department for rather short time has been equipped by the modern computer and peripheral equipment, and also the original software that has allowed to carry out quickly reorganization of educational process and closely to approach to quality maintenance as training, and the doctrine of students with the account of requirements of Bolonsky process. Further it is supposed to spend a complex of various researches for the purpose of realisation of tasks in view.

Quality management, educational process.

Роль качества образования в контексте Болонского процесса (БП) трудно переоценить. В лекциях по Болонскому процессу [1] последняя глава названа: "Качество высшего образования как ключевая цель Болонского процесса". Ежемесячно в журналах, посвященных образованию, публикуются статьи, имеющие отношение к качеству образования. Опубликованы монографии и учебные пособия [2–4].

Если рассматривать подготовку специалистов в вузе как особый вид "производства" [5] по преобразованию абитуриентов в специалистов, то появляется возможность воспользоваться современными концепциями менеджмента качества, которые в последнее десятилетие разработаны для производственных систем. В основе одной из концепций лежат восемь принципов [6]: 1. ориентация на потребителя; 2. лидерство руководителя; 3. вовлечение людей; 4. процессный подход; 5. системный подход к менеджменту; 6. постоянное улучшение; 7. принятие решений, основанное на фактах; 8. взаимоотношение с поставщиками.

ВУЗ так же, как и производство, представляет собой многоуровневую систему, состоящую из взаимосвязанных подсистем (факультетов, институтов, кафедр, лабораторий). Эта система реализует основную функцию – образование специалистов по различным образовательным программам (ОП). Аналогия с производством проявляется и в том, что в литературе все чаще употребляется термин "технология" (педагогическая технология, образовательная технология, компьютерная технология и др.) [7–9].

Сегодня, подготовку специалистов можно сравнить с конвейерным производством [8]. Абитуриенты, попав в институт, одинаковым образом "формируются" в течение определенного времени на различных кафедрах, при этом в образовательном процессе часто не соблюдается принцип процессного подхода в рамках ОП. Студент, изучающий какой либо курс на одной кафедре, не имеет возможности сразу использовать полученные знания на последующих кафедрах. Такое положение вещей может быть исправлено при проектировании новой или корректировке старой образовательной программы по направлению (специальности). В случае использования процессного подхода на уровне кафедры учебный курс должен быть спроектирован таким образом, чтобы его отдельные части были взаимосвязаны, а сам учебный предмет представлял собой систему [10], и его усвоение было бы непрерывным процессом.

Создание подобного курса требует внедрения в учебный процесс современных компьютерных технологий, которые, дают возможность вести учебный процесс на качественно новом уровне.

В рамках реализации национального проекта "Образование" в МИСиС на кафедре была создана учебная лаборатория "Начертательная геометрия и инженерная графика" на базе трех

чертежных классов, удовлетворяющая самым современным требованиям в плане мультимедийного оснащения.

Однако появление современного компьютерного оборудования само по себе не решает проблему обеспечения качества учебного процесса. В первую очередь необходимо иметь соответствующее программное обеспечение. Для учебной и научной работы в лаборатории было установлено следующее лицензионное программное обеспечение:

Компас 3D V8 plus, AutoCAD 2007, "Симплекс" (Simplex), Autodesk Inventor; Solid Works 2008; Corel Draw.

Анализ, проведенный сотрудниками кафедры инженерной графики МИСиС, показал, что на первом этапе освоения начертательной геометрии наиболее подходящим инструментом, с точки зрения возможностей и просторы интерфейса, является система автоматизации конструирования геометрических моделей "Симплекс" (Simplex), разработанная доцентом Д.В. Волошиновым [11]. На основе этой системы были разработаны и внедрены в учебный процесс программы, которые используются студентами на лабораторных и практических занятиях.

На первом этапе реализации "системного подхода" к учебному процессу, на кафедре инженерной графики были разработаны УМКД (учебно-методические комплексы документации) в электронном виде по ряду дисциплин, которые читаются на кафедре.

В работах сотрудников кафедры ранее освещались вопросы, связанные с подробным описанием целей создания УМКД, их структуры, а также другие аспекты инновационного подхода к образованию [12–13].

За время внедрения новых технологий на кафедре инженерной графики МИСиС все преподаватели прошли различные курсы повышения квалификации по применению компьютерных средств в образовательном процессе.

В рамках дисциплины "Информатика" преподавателями кафедры разработан и реализован учебный курс "Программное обеспечение инженерной графики" для всех студентов первого курса металлургических и материаловедческих специальностей, что свидетельствует об установлении междисциплинарных связей и внедрении элементов "процессного подхода".

Начиная с первого курса, все студенты технических специальностей изучают начертательную геометрию и инженерную графику как традиционным способом (на бумаге с помощью чертежных инструментов), так и, используя ряд графических пакетов, таких как "Симплекс", о котором говорилось выше, и Компас 3D V8 Plus.

Введение интегрированного курса потребовало выяснения готовности студентов к работе на компьютере. Для выяснения компьютерной грамотности студентов на первом практическом занятии проводилось анонимное анкетирование всех студентов первого курса.

Результаты анкетирования позволили получить следующую информацию: из 769 человек, принявших участие в анкетировании 665 студентов имеют дома компьютеры, что составляет 86 % от общего числа опрошенных. Первокурсники знакомы с основными элементами интерфейса операционной системы Windows, приложений Office 2003, а также некоторых графических программ. 78 % студентов, показали, что ими получены начальные знания по черчению в рамках школьной программы.

Таким образом, обращаясь к восьми принципам, на которых базируется система менеджмента качества, можно сделать вывод о том, что принятое решение о введении интегрированного курса оказалось своевременным. Существуют все предпосылки для сочетания в работе студентов, как традиционного способа графических построений, так и использования пакетов прикладных программ.

Инновационные технологии используются на кафедре при чтении лекционного материала. Презентация курса лекций по начертательной геометрии выполнена с помощью программы Power Point. В соответствии с учебной программой в виде презентаций также даются указания по изучению каждой темы курса, подробный календарный план. На слайдах приводятся примеры индивидуальных заданий, тестов и экзаменационного билета с указанием критериев оценки. Лекции такого типа должны стать современным инструментом для совместной активной работы преподавателя и студента.

Как отмечалось, в рамках учебного процесса предусмотрено проведение лабораторных работ по курсу "Программное обеспечение инженерной графики". Лабораторные работы проводятся с помощью программного обеспечения "Симплекс" и Компас 3D V8 Plus.

По окончанию зимней сессии был проведен сравнительный анализ числа неудовлетворительных и отличных оценок, полученных студентами на экзаменах за последние четыре года в различных потоках

Анализ показал, что в 2003–2004 гг. процент "двоек", полученных первокурсниками, в потоках колебался в пределах 17–19 %, а в 2007–2008 гг. соответственно 10–15 %. Однако пока трудно сделать однозначный вывод об эффективности инновационной технологии обучения. Аналогичная ситуация имеет место и с процентным соотношением отличных оценок, полученных студентами на экзаменах.

В начале второго семестре 2008 года 116-м студентам задали вопрос: "Как вам было бы легче осваивать начертательную геометрию в первом семестре: традиционным, компьютерным или смешанным способом?". 60 человек выбрали смешанный способ, т. е. черчение на бумаге и на компьютере. Этот факт может свидетельствовать о том, что надо совершенствовать методику преподавания графической дисциплины с применением компьютеров.

Анализ ситуации на кафедре инженерной графики МИСиС в течение последнего учебного 2007– 2008 гг. дает возможность сделать некоторые выводы и предложить пути улучшения работы с целью повышения качества подготовки студентов.

Современная концепция менеджмента качества на производстве рассматривает качество продукта и качество процессов, которые используются при изготовлении продукта. При этом, чем раньше в процессе производства будет обнаружен дефект (несоответствие), тем проще его будет исправить (если это возможно) или удалить дефектный продукт на ранней стадии [6], т. е. постоянный мониторинг знаний и умений студентов, а также оценка их личностных качеств позволит сократить отсев по кафедре до минимума, а в пределе – до нуля.

Ранее отмечалось, что обучение нельзя рассматривать только как предоставление услуг. И студенты, и преподаватели являются непосредственными участниками процесса "обучения – учения". Инновационная система мотивирует преподавателей и студентов к активной деятельности. Среда, в которой оказались студенты, дает им возможность работать в том темпе, который для них приемлем. А это уже первый шаг к так называемому студенто-центрированному обучению, о котором сегодня много пишут и говорят в контексте Болонского процесса.

Возвращаясь к 8-ми принципам, на которых строятся системы качества, надо отметить, что на кафедре полностью реализован принцип "лидерства руководства". Сегодня руководство кафедрой осуществляет специалист, стоящий у истоков инновационных преобразований идущих в вузе, и стремящийся личным примером привлечь весь коллектив кафедры к ведению учебного процесса на качественно новом уровне. И это удается сделать: организация творческой группы преподавателей, прохождения курсов повышения квалификации, привлечение к работе молодых специалистов и преподавателей – эти мероприятия свидетельствуют о том, что реализуется принцип "вовлечение людей".

Надо признать, что пока еще не в полной мере реализован "принцип взаимовыгодных отношений с поставщиками", хотя работа в этом направлении ведется постоянно.

При решении вопроса о реализации принципа "ориентации на потребителя" надо заметить, что с разработкой федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) третьего поколения, базирующихся на компетентностном подходе, очевидно, появится необходимость корректировки целей обучения в виде компетенций, и как следствие – разработки новых учебных курсов и образовательных программ. Однако кафедра располагает УМКД по ряду дисциплин, о которых говорилось выше, и это позволяет сделать вывод о возможности быстрого внесения изменений и дополнений в соответствии с новыми требованиями ФГОС.

Рассматривая один из важнейших принципов менеджмента качества, а именно "процессный подход", отметим, что на кафедре ведется работа по преобразованию учебного процесса в системный учебный курс. Процессный подход тесно связан с системным подходом к менеджменту. Кафедра, на которой работает 17 преподавателей, может быть рассмотрена как организация, имеющая систему менеджмента качества (СМК), являющуюся частью СМК университета.

Обращаясь к принципам "постоянного улучшения" и "подхода к принятию решений, основанного на фактах" надо сказать, что в стандарте ИСО 9004:2000 отмечено: "постоянное улучшение деятельности организации следовало бы рассматривать в качестве ее неизменной цели". Если кафедру и студентов, обучающихся на этой кафедре, например, в течение года, рассматривать как единую организацию, то все члены такой организации должны быть заинтересованы в постоянном улучшении своей работы – и преподаватели, и студенты. Различного рода опросы, которые сегодня проводятся преподавателями, дают возможность "держать руку

на пульсе" процесса обучения (т. е., иметь "обратную связь") и в случаях необходимости корректировать процесс.

С зимнего семестра 2008-го на кафедре введен регулярный опрос студентов. Такой мониторинг является нормой не для всех преподавателей, но интерес к нему как со стороны студентов, так и со стороны сотрудников уже появился. Анализ результатов и своевременные выводы позволяют влиять на работу коллектива кафедры с целью повышения качества образования.

В последние годы все более широкое распространение получает так называемое когнитивное моделирование для ситуаций, в которых невозможно применить хорошо разработанные методы математического моделирования. Проблема качества образования относится как раз к классу таких неформализованных проблем. Попытка использования когнитивного моделирования в решении этой проблемы была предпринята в работе [14] и привела к заключению, что такой подход может быть с успехом использован для оценки качества обучения на конкретной кафедре. На кафедре предполагается использовать данный подход для решения проблем качества образовательного процесса.

БИИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Байденко, В. И.* Болонский процесс. Курс лекций / В. И. Байденко – М.: Логос, 2004. – 207 с.

2. *Коротков, Э. М.* Управление качеством образования. Учебное пособие для вузов / Э. М. Коротков – М.: Академический проект, 2006. – 317 с.

3. *Трайнев, В. А.* Повышение качества высшего образования и Болонский процесс / В. А. Трайнев, [и др.] – М.: Дашков, 2007. – 390 с.

4. *Беспалько, В. П.* Образование и обучение с участием компьютеров. Педагогика третьего тысячелетия / В. П. Беспалько – Воронеж: МОДЭК, 2002. – 351 с.

5. *Качалов, В. А.* По поводу оценки качества / В. А. Качалов, Б. А. Прудковский // Высшее образование в России – 1999. – № 2. – С. 54–58.

6. *Качалов, В. А.* Стандарты ИСО 9000 и проблемы управления качеством в вузах / В. А. Качалов – М.: ИздАТ, 2001. – 126 с.

7. *Кларин, М. В.* Инновационное обучение. Метафоры и модели / М. В. Кларин – М.: Наука, 1997. – 224 с.

8. *Бондаренко, А. Д.* Современная технология: теория и практика / А. Д. Бондаренко – Киев: Вища школа, 1985. – 169 с.

9. *Соловов, А. В.* Электронное обучение: проблематика, дидактика, технология / А. В. Соловов – Самара: Новая техника, 2006. – 462 с.

10. *Решетова, З. А.* Психологические основы профессионального обучения / З. А. Решетова М.: – МГУ, 1985. – 2006 с.

11. *Волошинов, Д. В.* Система автоматизации конструирования проекционных геометрических моделей "Симплекс" Вестник Академии технического творчества / Д. В. Волошинов СПб., СПбГТУ, 1997. – № 2. – С.19–70.

12. *Мокрецова, Л. О.* Концепция графического образования студентов высшей школы в современных условиях Состояние, проблемы и тенденции развития графической подготовки в высшей школе / Л. О. Мокрецова, В. Б Головкина, М. В. Лейкова, О. Н. Чиченева // Челябинск, Изд-во ЮУрГУ – 2007. – Том. 1, – С.113–118.

13. *Головкина, В. Б.* Критерии оценок графических и экзаменационных работ по начертательной геометрии и инженерной графике Актуальные вопросы графического образования молодежи / В. Б. Головкина, Л. О. Мокрецова, М. В. Лейкова // Рыбинск, Материалы II Всероссийской научно-методической конференции 2007. – С. 14–19.

14. *Заболотский, М. А.* Применение когнитивного моделирования в управлении качеством подготовки специалистов. Управление большими системами / М. А. Заболотский, И. А. Полякова, А. В. Тихонин // М.: ПГУ РАН – 2007. – № 16. – С. 91–98.

УДК 681.51

Э. Е. Кудряшова

ВИЗУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БИЗНЕС-ПЛАНА

Волгоградский государственный технический университет (ela42@bk.ru)

Многовариантная разработка бизнес-плана может быть проведена с использованием в процессе бизнес-планирования автоматизированной системы визуального моделирования.

Ключевые слова: бизнес-план, автоматизированная система визуального моделирования.

E. E. Kudryashova

THE VISUAL MODELING IN DEVELOPMENT OF BUSINESS-PLAN

Multivariate development of business-plan can be hold with using during the business planning computer aided system of visual modeling.

Business-plan, computer aided system of visual modeling.

Комитет по строительству при Администрации г. Волгограда планирует застройку территорий, занимаемых ранее нерентабельными производственными предприятиями, находящимися в муниципальной собственности. Разработка бизнес-плана застройки каждого выделенного участка требует предварительного анализа нескольких вариантов застройки, например, строительство жилого комплекса или торгово-развлекательного центра (ТРЦ). Для поиска рационального решения плана застройки в условиях ограничения по ресурсам и с уче-

том имеющегося окружения (жилые массивы, транспортные пути и т. д.) предлагается проводить имитационное моделирование до разработки бизнес-плана. Одним из наиболее эффективных инструментов имитационного моделирования является система Arena (фирма-разработчик Rockwell Software – ранее Systems Modeling Corporation), которая позволяет в визуальной среде строить модели, анализировать результаты, корректировать модель с целью получения рационального результата. Рассмотрен вариант застройки – строительство торгово-развлекательного центра. Предполагается, что посещаемость ТРЦ составит 10 тыс. человек в день; магазин будет работать 7 дней в неделю с 8.00 до 22.00 час.

На предпроектной стадии застройки земельного участка необходимо определить площадь под ТРЦ (площадь магазина), которая зависит от показателей функционирования магазина, оказывающих влияние на величину площади: оптимальное количество посетителей магазина, рациональное расположение стеллажей с товарами, количество касс, обеспечивающих работу без очередей и простоев и т. д.

Процесс покупки одним покупателем содержит этапы: вход в магазин; выбор товара, расположенного на стеллажах; оплата выбранного товара в кассе; выход из магазина.

Постановка задачи в формальных понятиях автоматизированной системы визуального моделирования Arena, в которой за основу инструментария моделирования принята система массового обслуживания (СМО):

первая фаза – заявки поступают из одного источника; интенсивность поступления заявок 10 тыс. чел. в день; заявки становятся в очередь на обслуживание (в кассы); очередь в каждую кассу неограниченна (система с ожиданием); продвижение очереди осуществляется согласно дисциплине FIFO; заявка ждет освобождения одного из обслуживающих аппаратов "касса" в течение неограниченного времени;

вторая фаза – обслуживание кассой; время обслуживания выбирается случайным образом из промежутка от 1 до 5 минут; после завершения второй фазы заявка является выполненной и покидает канал обслуживания.

Таким образом, по классификационному признаку "количество требований, которые одновременно могут находиться в системе" вид СМО – с неограниченным потоком требований; принято, что имеется фиксированное количество касс 5, то есть СМО с ограниченным числом аппаратов обслуживания; по количеству фаз обслуживания – двухфазная СМО; по количеству источников требований – незамкнутая СМО с ограниченным числом источников (один источник); по характеру обслуживания требований – СМО со случайным временем обслуживания.

Визуализация модели в Arena. Модель разрабатывается как структура взаимосвязанных блоков определенного типа:

а) Create – генерирует прибытие транзактов (под транзактом понимается один клиент), принят пуассоновский закон с интенсивностью 0,3;

б) Process – симуляция обслуживания покупателей кассами i (i = 1..5);

в) Decide – определяет "действия" посетителей магазина;

г) Station – начало этапа в процессе моделирования (например, подход покупателя к стеллажу с товаром или подход к кассе);

д) Route – указывает время перехода к очередному этапу;

е) PickStation – определяет кассу с наименьшей очередью для оплаты товара покупателем. В блоке задаются обслуживающие кассы, функция выбора кассы и параметры поиска минимальной очереди;

ж) Dispose – используется для удаления транзактов (ушедших покупателей, обслуженных кассой).

Визуальная модель включает как основные блоки, так и блоки, расширяющие модель дополнительными функциями динамического моделирования процессов. Разработанная визуальная модель показана на рис. 1.

Каждый блок должен быть настроен для моделирования конкретной ситуации. В настройках блоков задаются начальные значения основных объектов модели: время, затрачиваемое покупателем на каждом этапе (подход к стеллажам; время на выбор товара – минимальное, среднее, максимальное; время подхода к кассе); вероятность подхода к стеллажам; время обслуживания покупателей кассами – минимальное, среднее, максимальное; вероятность прихода посетителя в магазин. Пример настройки блока PickStation показан на рис. 2.

Моделирование ведется за несколько прогонов. Результаты моделирования отражаются как в динамическом режиме, так и в виде отчетов. После каждого прогона результаты анализирует ЛПР – лицо, принимающее решение (квалифицированный пользователь АС Arena, который должен обладать знаниями в предметной области), после чего модель при необходимости корректируется. Например, может быть принято решение об изменении (увеличении или уменьшении) количества касс, об изменении модельного периода (один день или неделя) и т. д.

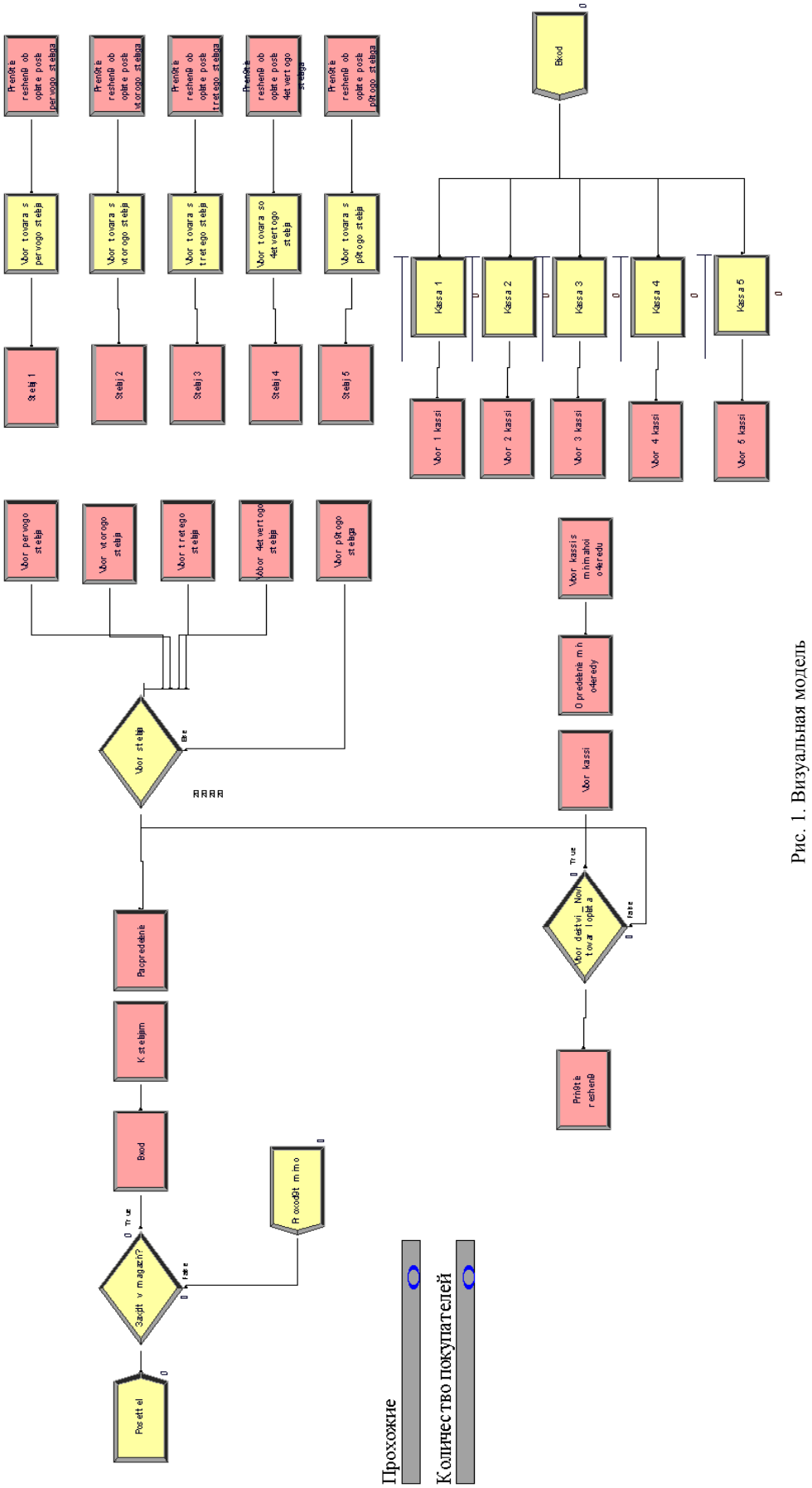


Рис. 1. Визуальная модель

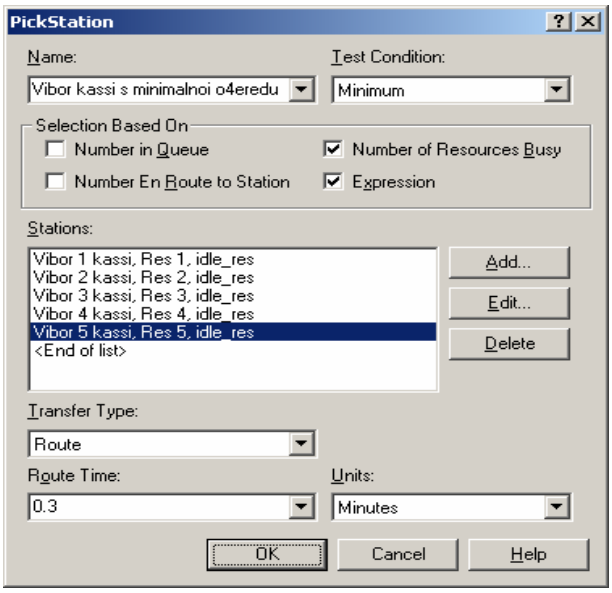


Рис. 2. Пример настройки блока

Графики симуляции на промежуточном прогоне с измененными параметрами (при увеличении количества касс до 6) показаны на рис. 3.

Динамическое моделирование отражается на визуальной модели перемещением маркера соответственно выполнению процессов, а также графиками симуляции в режиме модельного времени. Анализируя графики можно выявить следующую зависимость: утром очереди достаточно большие относительно загруженности касс; в середине дня загруженность касс снижается; вечером очереди увеличиваются и резко уменьшаются поздно вечером.

Система автоматически генерирует после симуляции модели ряд отчетов. Один из отчетов – Queues (Очереди), показан на рис. 4.

Отчет "Очереди" отображает результаты по следующим параметрам: количество касс; среднее время ожидания посетителем освобождения кассы; среднее количество посетителей, ожидающих освобождения кассы.

Общий отчет отображает результаты по следующим основным параметрам: доля суммарного времени ожидания обслуживания от общего времени моделирования; доля суммарного времени, затраченного на переходы заявки от одной станции обслуживания к другой и т. д. Для каждого параметра показываются характеристики, распределенные по столбцам: среднее значение; математическое отклонение; минимальное значение; максимальное значение.

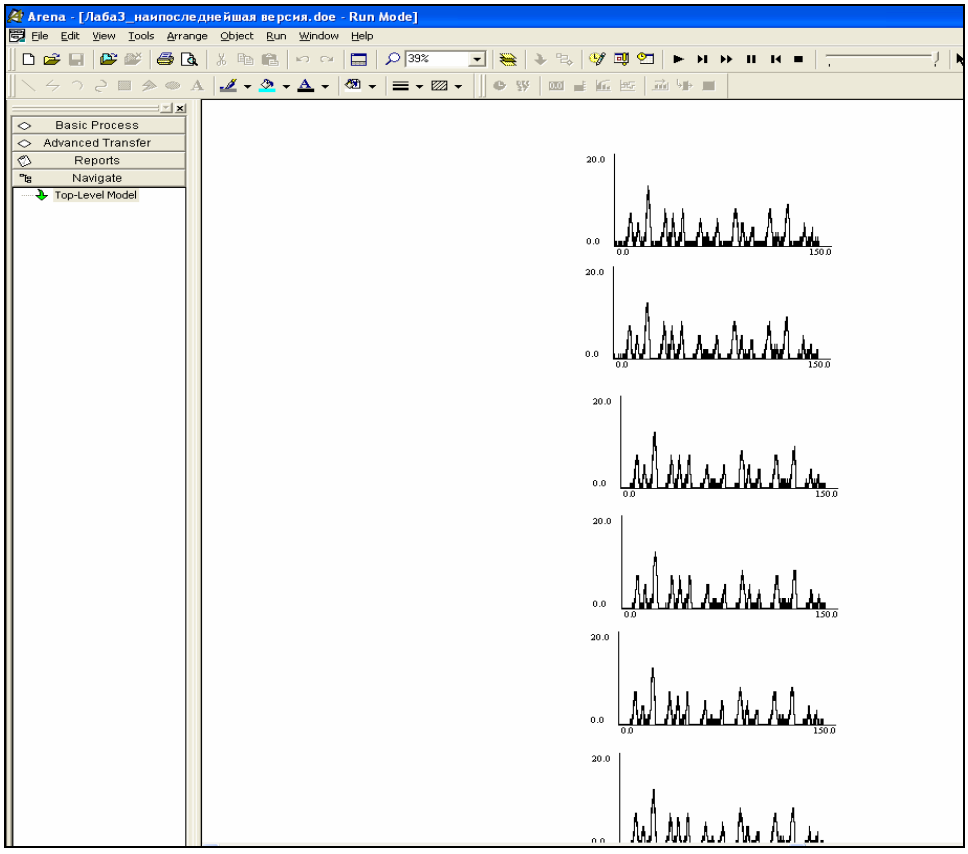
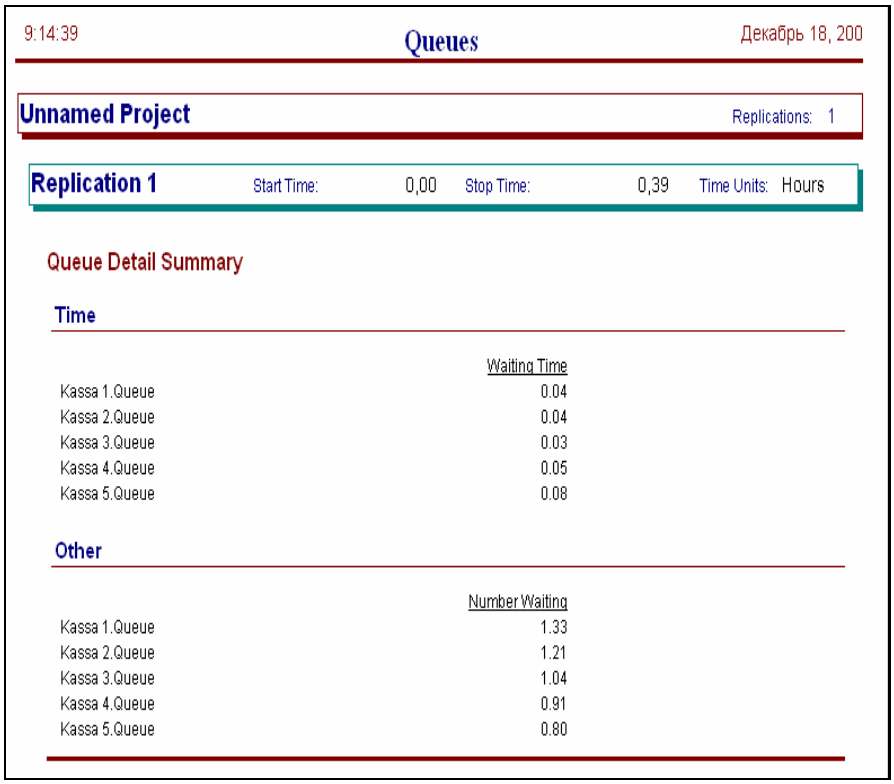


Рис. 3. Динамические графики, отражающие симуляцию



9:14:39 Queues Декабрь 18, 200

Unnamed Project Replications: 1

Replication 1 Start Time: 0,00 Stop Time: 0,39 Time Units: Hours

Queue Detail Summary

Time

	Waiting Time
Kassa 1.Queue	0.04
Kassa 2.Queue	0.04
Kassa 3.Queue	0.03
Kassa 4.Queue	0.05
Kassa 5.Queue	0.08

Other

	Number Waiting
Kassa 1.Queue	1.33
Kassa 2.Queue	1.21
Kassa 3.Queue	1.04
Kassa 4.Queue	0.91
Kassa 5.Queue	0.80

Рис. 4. Отчет "Очереди"

Для получения рационального результата было выполнено несколько прогонов моделирования с изменением количества касс – от 4 до 6. Лучший результат получен при количестве касс – 5, так как при этом не создается больших очередей или простоев. Моделирование заканчивается, когда ЛПР решает, что по анализируемым параметрам получены результаты, которые укладываются в условия поставленной задачи.

Проведение имитационного моделирования для получения оптимального плана застройки с учетом происходящих процессов позволяет в короткий срок разработать обоснованный бизнес-план.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Маклаков С.* Имитационное моделирование с Arena / КомпьютерПресс #1, 2001.

УДК 378

Н. А. Кудряшова, Д. И. Крыжановский

СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ЗАПАДНОЕВРОПЕЙСКИХ СТРАНАХ (НА ПРИМЕРЕ ФИНЛЯНДИИ И БЕЛЬГИИ)

Волгоградский государственный технический университет (dikryzhanovsky@yandex.ru)

Настоящая статья посвящена сравнительному анализу образования в технических науках на примере Бельгии и Финляндии.
Ключевые слова: Болонский процесс, образование в странах Евросоюза.

N. A. Kudryashova, D. I. Kryzhanovsky

THE SYSTEM OF A PRACTICE ORIENTED HIGH EDUCATION IN WEST EUROPE COUNTIES (WITH AN EXAMPLE OF FINLAND AND BELGIUM)

The present paper is devoted to a comparative analysis of technical high education with an example of Belgium and Finland.
Bologna process, education in EU.

1. Введение

Одним из недостатков современной системы российского высшего образования является ее недостаточная ориентированность на практику. В большинстве российских вузов студент проходит обучение не получая каких-либо практических навыков, без опыта работы на предприятии. По существу, он выходит из вуза, нагруженный багажом знаний, которые абсолютно не умеет приме-

нять, и, начав работать, он вынужден подчас учиться заново.

Слабо развито в нашей стране и взаимодействие вузов и работодателей. Только крупнейшие ведущие университеты могут похвастаться тем, что их выпускники в основном трудоустроены и работают по специальности. Самое парадоксальное в этой ситуации, что не только студенты не могут найти работу, но и работодатели озабочены поисками сотрудников. То есть проблема существует на обоих полюсах, обе стороны, казалось бы, должны быть заинтересованы в ее решении, но тем не менее, ситуация принципиально к лучшему не меняется.

Третьим важным недостатком современного высшего образования в России является слабая поддержка инновационных идей и проектов. Лишь в последние годы благодаря поддержке Фонда Бортника и других грантообразующих организаций ситуация начала изменяться, но по-прежнему, единой системы поддержки, продвижения и практической реализации перспективных проектов нет. В результате студентам и научным сотрудникам, работящим в том или ином проекте, приходится много времени и сил уделять для решения административных проблем, и часто удачное завершение проекта зависит не столько от его ценности самой по себе, сколько от случайного стечения обстоятельств.

В связи с вышесказанным представляется актуальным проанализировать системы образования в ряде западноевропейских стран, которые достаточно удачно решают означенные выше вопросы. В данной статье рассказывается о системах практико-ориентированного высшего образования на примере Финляндии и Бельгии, которые авторам довелось изучать непосредственно.

2. Практико-ориентированное образование в Финляндии

Высшее образование в Финляндии представлено двумя типами образовательных учреждений: классические университеты и университеты прикладных наук. Оба сектора имеют свои особенности: в классических университетах акцент делается на научном исследовании и классическом преподавании, в то время как университеты прикладных наук более сфокусированы на практическом подходе. Следует отметить, что, несмотря на то, что университеты прикладных наук появились в Финляндии в 1992 году, практическая направленность в обучении и связанные с этим модели обучения имеют давнюю традицию. Они были созданы на основе объединения специализированных училищ с целью организации профессионального высшего образования: 200 профессиональных техникумов были объединены в 30 университетов прикладных наук.

Основными задачами таких университетов являются подготовка профессиональных специалистов и специалистов международного рынка. Колоссальную роль здесь играет связь с промышленностью, которая проявляется даже на этапе создания курсов, поскольку учебный процесс должен обязательно отвечать потребностям промышленности. Практическая направленность таких университетов поддерживается законодательством, которое устанавливает следующие задачи:

- образование на уровне бакалавриата и магистратуры;
- ведение научно-исследовательской деятельности и деятельности по развитию (эта деятельность отличается от деятельности классических университетов тем, что исследовательская идея должна исходить от потребителя);
- потребители должны быть в своем регионе;
- выполняемые проекты должны иметь непосредственное отношение к процессу обучения.

Университеты прикладных наук имеют три источника финансирования:

1) правительство (50 %),

2) деньги, заработанные университетом (10 %),

3) частные владельцы: муниципалитет, общины, предприятия (40 %).

К преподавателям и студентам университетов прикладных наук предъявляются особые требования. Для того чтобы получить должность преподавателя, кандидат должен иметь опыт работы по теме курса не менее трех лет. Поступить в магистратуру также можно только после трех лет стажа работы (чтобы студент был практически подготовлен).

На каждом факультете есть по одному ответственному представителю за связь с промышленностью, но занимаются этим вопросом (поиск новых предприятий, поддержание контактов и пр.) все, включая всех преподавателей, студентов, а также представителей промышленности, которые входят в правление университета. Например, в сфере информационных технологий Университет прикладных наук Савония города Куопио взаимодействует с поряд-

ка 20 компаниями, для которых выполняется по одному проекту в год, например, такие:

- Для пожарной службы разрабатывается комплекс определения с помощью датчиков местоположения любого движущегося объекта в здании при условиях низкой видимости и передачи этой информации на КПК пожарного отряда;
- Разрабатывается система дистанционного контроля за состоянием офиса (директор может проверять состояние своей фирмы из дома);
- Разработан сайт университетской метеолаборатории по анализу погоды.

В процессе обучения студенты также должны пройти стажировку на предприятии в течение 6 месяцев, которая может быть разделена на две части по 2 и 4 месяца. Фирмы присылают заявки на работы для выполнения (эти темы, как правило, являются дипломными работами для студентов), студент выбирает интересующую его тему и проходит стажировку на выбранном предприятии, собирая при этом материал и выполняя свою дипломную работу. Практически все предприятия оплачивают работу студентов.

Несмотря на то, что в этих университетах нет никакой специальной программы трудоустройства выпускников, 80 % выпускников сразу же по окончании университета трудоустраиваются. К этому есть несколько посылок:

- все студенты проходят стажировку на предприятии, и если фирма довольна, как студент выполнял работу, она, скорее всего, захочет взять его на постоянную работу по окончании университета;
- университеты прикладных наук готовят специалистов, разбирающихся не только в теоретической, но и в практической стороне вопроса, готовых для работы.

Важным направлением в деятельности образовательных учреждений в Европе в целом и в Финляндии в частности является поддержка инновационных проектов. Одним из учреждений, работающих в Финляндии этом направлении, является технологический цент Текния, который отвечает за координацию технологических экспертиз. Более 190 компаний и организаций работает под покровительством этого центра. Многие из этих компаний коммерчески используют фундаментальные открытия и инновации, совершаемые в исследовательских лабораториях университетов. Основными направлениями деятельности Текнии являются строительство, инкубатор предпринимательства, проекты развития, интернационализация. Ведущими направлениями в настоящее время являются здравоохранение и защита окружающей среды; продвигаются высокие технологии в области медицины (диагностическое оборудование и пр.).

Преимуществом вступления в подобный технологический центр заключается в том, что фирмам не надо искать контакты (они пользуются сетью центров) и не надо платить за эту информацию, поскольку зарплата работникам идет из муниципалитета и национальных программ развития. Основной же интерес представляет инкубатор предпринимательства. В инкубатор предпринимательства принимают молодые фирмы с перспективными идеями и помогают развить эти идеи и воплотить в жизнь. Инкубатор предназначен только для идей в области высоких технологий. Когда фирму берут в инкубатор, с ней заключается договор на два года; фирме предоставляют в аренду (за низкую плату) помещения, телекоммуникационные услуги и помощь экспертов (один раз в месяц проходят совещания и консультации). Молодым предпринимателям предоставляется весь пакет информации, курсы и контакты, которых и начинающего предпринимателя нет.

Каждый год проводится конкурс идей Kuopio Venture Cup, в результате которого из 140 команд выбирают 3 команды для организации фирмы, при этом предоставляя дополнительную финансовую поддержку. Студенты могут принимать участие в этом конкурсе со своими идеями. Также студент может выбрать курс Venture Cup в университете (на этом курсе рассказывается, как организовать свое дело и как участвовать в конкурсе) и это будет считаться частью его стажировки. Оценка команд и идей проводится по следующим аспектам: перспективность, возможность роста, уровень подготовки и желания, идея должна относиться к высоким технологиям (желательно медицина и ИТ). Подобные инкубаторы функционируют в каждом из 22 технопарков Финляндии, при этом в каждом парке есть свое приоритетное направление.

3. Практико-ориентированное образование в Бельгии

Высшие учебные заведения в Бельгии делятся на две категории: это университеты в классическом значении этого слова и hogeschool (в переводе с голландского – высшие школы),

представляющие собой нечто среднее между техникумами и профессиональными институтами в советской системе образования. Hogeschool – это все-таки высшие учебные заведения, но практически все они готовят только бакалавров и лишь по небольшому числу направлений специалистов или магистров.

Ориентированность на практику проходит красной нитью в обучении студентов высших школ. Подавляющее большинство курсовых проектов являются либо реальными задачами, предложенными предприятиями, либо осуществляются в рамках текущих проектов, ведущихся в учебном заведении. Что же касается тем выпускных работ, все они в обязательном порядке связаны с заказами предприятий. Такая система преследует сразу несколько целей: предприятия получают решения интересующих их задач, они находят себе потенциальных сотрудников, студенты получают практический опыт работы, студенты находят себе потенциальных работодателей, устанавливается тесное взаимодействие между учебными заведениями и производством.

Высшая школа в Бельгии получает недостаточное (около 10 %) финансирование со стороны государства, что вынуждает учебные заведения выполнять проекты на заказ. Так, казалось бы, недостаточная поддержка правительства усиливает практическую направленность высшего образования. При этом учебные заведения могут заниматься только проектами, связанными с их образовательной деятельностью, и существуют нормы распределения получаемых от них доходов, которые идут на развитие самого учебного заведения, на оплату труда сотрудников и т. п. Таким образом, исключается произвол, в результате которого в 90-е гг. многие российские вузы были превращены в бизнес-учреждения.

Единой системы взаимодействия высшей школы и работодателей в Бельгии не существует. Однако в каждом университете и в каждой высшей школе существуют открытые банки данных, в которых содержатся данные о студентах, о выполняемых ими выпускных проектах и тексты их работ. Эти банки данных через Web-интерфейс доступны любому пользователю извне, благодаря чему в Бельгии существует единое информационное пространство университет – работодатель, дающее возможность получить и студенту, и работодателю всю интересующую их информацию.

Большое внимание уделяется в Бельгии и поддержке инновационных проектов, особенно в медицине и сфере ИТ. При университетах существуют многочисленные центры – инкубаторы идей, которые не только разрабатывают перспективные проекты, но и организовывают курсы для представителей малого и среднего бизнеса, призванные помочь им внедрить достижения технического прогресса в их повседневную деятельность.

Таким образом, можно сказать, что в странах Евросоюза развитие сотрудничества между университетами и промышленными предприятиями основывается на понимании выгоды для каждой из сотрудничающих сторон, региона и страны в целом. Не имея специальных отделов и групп по организации взаимодействия с предприятиями, практико-ориентированное образование развивается и дает положительные результаты. На наш взгляд, важную роль здесь играют следующие факторы: профессиональность и практическая опытность преподавательского состава, грамотно организованная стажировка и поддержка на правительственном уровне.

В настоящее время в российских университетах студенты проходят стажировку в течение одного месяца, что явно не достаточно для выполнения серьезной работы, в которой может быть заинтересовано предприятие. Практика будет иметь смысл, если ее длительность будет не менее трех месяцев. Следует также известить предприятия о желании организации подобного взаимодействия и собрать интересующие их темы исследований, в рамках которых студенты могли бы выполнять курсовые или дипломные работы, результаты которых предприятия смогут использовать у себя в производстве. Очень большие и интересные проекты можно выставлять на участие в конкурсах, победителям которых даются гранты на разработку. Подобная схема, особенно на начальном этапе поможет минимизировать затраты и стимулировать сотрудничество между университетами и предприятиями в России.

УДК 004.891.3

С. В. Окладникова

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ ТЕСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРАВИЛАМ РУССКОГО ЯЗЫКА

Астраханский государственный университет (chelle@aspu.ru)

В статье рассмотрены достоинства и недостатки «ручного» метода формирования содержания тестовых вопросов, используемых при организации компьютерного тестирования. Обоснована необходимость оценки соответствия их содержания техническим требованиям систем тестирования и правилам русского языка. Рассмотрены соответствующие алгоритмы автоматизированного контроля и управления.

Ключевые слова: компьютерное тестирование, содержание тестовых заданий, контроль правописания, контроль технических требований.

S. V. Okladnikova

DEVELOPMENT OF ALGORITHM OF THE CONTROL AND MANAGEMENT OF CONFORMITY OF TEST MATERIALS TO RULES OF RUSSIAN

In clause merits and demerits of a "manual" method of formation of the maintenance of the test questions used at the organization of computer testing are considered. Necessity of an estimation of conformity of their maintenance to technical requirements of systems of testing and rules of Russian is proved. Corresponding algorithms of the automated control and management are considered.

Computer testing, the maintenance of test tasks, the control of spelling, control of technical requirements.

В настоящее время в вузах компьютерное тестирование (КТ), как метод оценки уровня знаний учащихся, приобретает все большую популярность. Однако объективность выставления оценки напрямую зависит от качества используемого тестового материала (ТМ). На сегодняшний день большую часть используемых в учебном процессе ТМ составляют материалы, разработанные преподавателями учебных заведений в рамках преподаваемых ими дисциплин. Популярность использования таких ТМ обусловлена в первую очередь их экономичностью и доступностью при создании, адаптивностью по отношению к преподаваемому материалу, ориентацией на педагогические потребности небольшого количества учащихся и т. п.

Анализ существующих автоматизированных систем тестирования (АСТ) показал, что лишь у 30 % из них реализованы подсистемы анализа качества ТМ. Оценка качества выполняется с использованием экспериментально – статистических методов. Для получения достоверных данных анализа необходим большой объем статистической информации результатов тестирования испытуемых, что для ряда дисциплин является проблематичным в силу лимита учебных часов, отведенных (в соответствии с учебным планом специальности) на их изучение или в силу малочисленности группы учащихся. В этом случае накопление достаточного количества статистики будет происходить в течение нескольких лет, что в свою очередь может привести к потере актуальности оцениваемого ТМ. Использование экспериментально – статистических методов ориентировано, в основном, на анализ качества теста и связан с расчетом показателей качества: надежностью и валидностью. Процесс отбора "не качественных" ТЗ не предусматривает оценку причины "выбраковки" такого ТЗ, и не позволяет автору определить тип допущенной ошибки.

Как правило, содержание тестовых заданий (ТЗ) составляется преподавателями вручную и целиком зависит от индивидуальных особенностей автора (стиль изложения, грамотность и т. п.). Допускаемые авторами ошибки искажают смысл задания или затрудняют его понимание.

Содержание ТЗ фиксируется в электронном виде с помощью внешних или встроенных в АСТ редакторов (конструкторов тестов). Разработка ТЗ с использованием внешних текстовых редакторов предусматривает обязательную организацию импорта (обычно текстовых) файлов, содержащих ТЗ в базу ТМ АСТ. Достоинством данной технологии является наличие встроенной автоматизированной поддержки правописания в большинстве текстовых редакторах. Недостатком – необходимость записи ТЗ в соответствии с техническим требованиями АСТ, которые предъявляются к формату вводимых данных. Вследствие этого возникает необходимость проведения дополнительного контроля правильности технического оформления ТЗ. Обычные текстовые редакторы не имеют функциональной возможности провести данный вид контроля. Во встроенных редакторах наоборот, ввод и сохранение ТЗ в АСТ осуществляется

в соответствии с заданной структурой и формой записи данных, однако поддержка разработчика в отношении правописания развита слабо или вообще отсутствует. При этом контроль качества правописания ТМ выполняется автором, в основном, "визуально". Следовательно, задача автоматизации контроля и управления качеством правописания ТЗ в процессе разработки их содержания является актуальной, и связана с проведением лексического, морфологического и синтаксического анализа вводимого текста.

На рис. 1 представлен общий алгоритм, реализующий контроль и управление соответствия ТМ правилам русского языка.

Лексический анализ предполагает проверку корректности ввода отдельных символов путем их сравнения с символами, заранее определенными в массиве допустимых символов (МДС). В качестве допустимых символов, используемых при наборе текстовых формулировок ТЗ можно рассматривать все буквы русского и английского алфавитов, цифры и другие служебные символы, например, "№", "*", " %" и т. п.

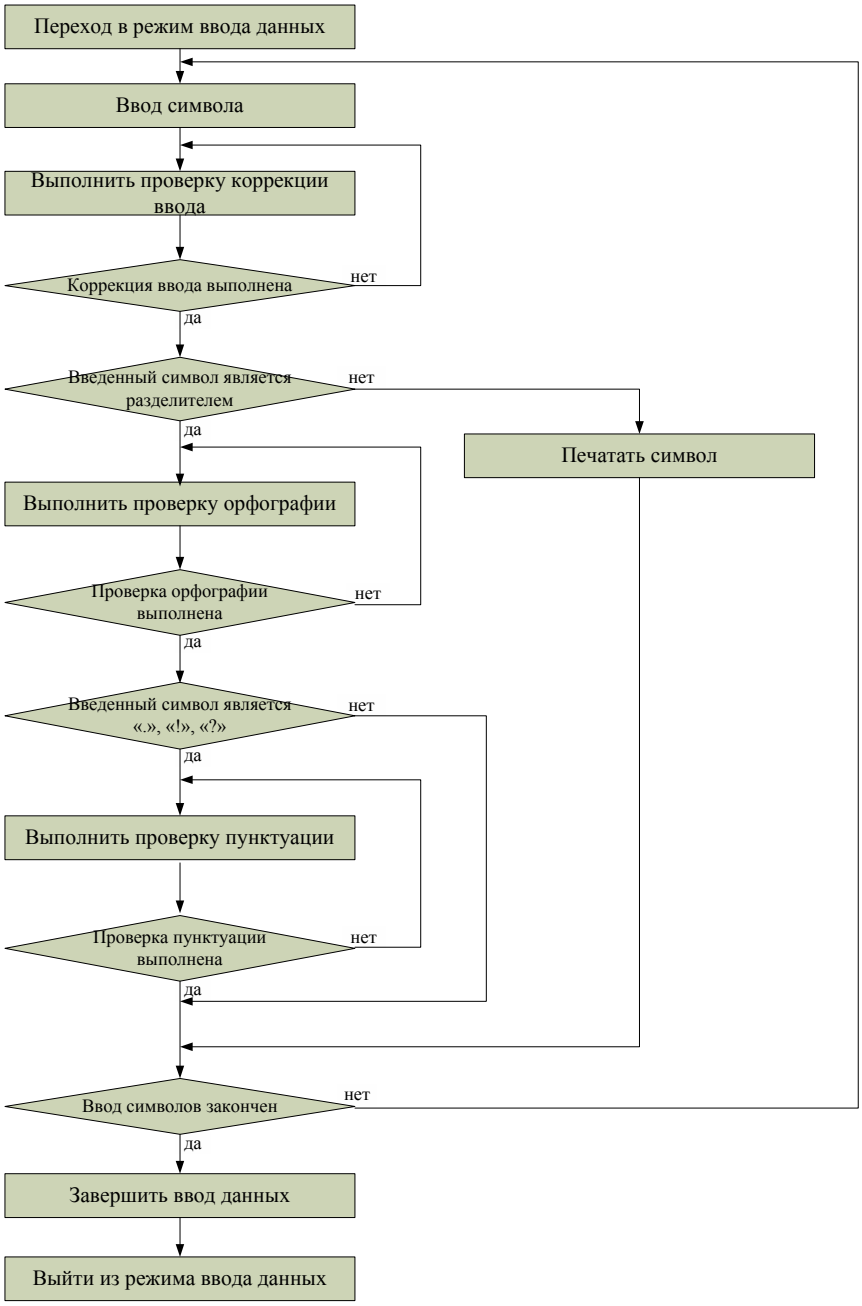


Рис. 1. Общий алгоритм контроля и управления соответствия тестовых материалов правилам русского языка

Алгоритм управления корректностью ввода отдельных символов представлен на рис. 2.

Основой для проверки орфографии и пунктуации выступают различные методы морфологического и синтаксического анализа русского языка.

Морфологический анализ связан с анализом отдельных слов и основан на использовании морфологических словарей или проведении морфемного анализа [1]. Типичными ошибками, допускаемыми авторами при наборе текста тестовых вопросов с использованием клавиатуры с раскладкой "QWERTY" выступают: вставка, пропуск, замена, перестановка и двойное нажатие одного символа. Процент искажения текста данными типами ошибок составляет 85 % от их общего числа. На рис. 3 представлен алгоритм управления правописанием тестовых заданий с использованием словарного метода.

Синтаксический анализ связан с анализом отдельных предложений и позволяет определять взаимосвязи отдельных слов и частей предложений. Отдельные слова представляют собой вершины графа, которые связаны между собой определенным образом. На основе системы связей разрабатываются представления синтаксической структуры предложения.

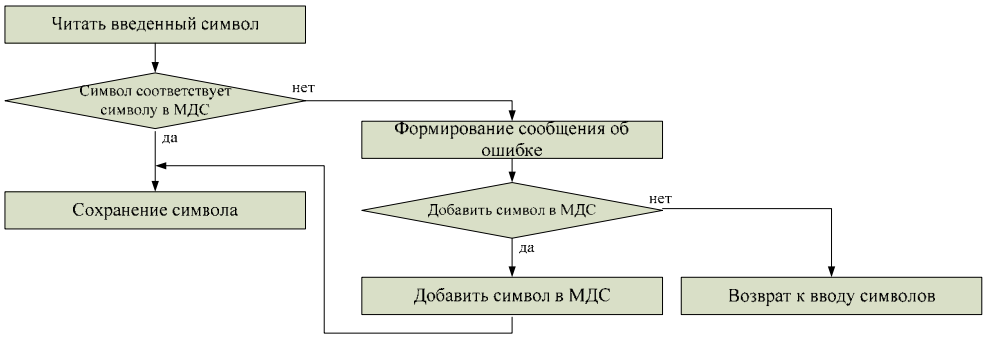


Рис. 2. Алгоритм управления корректностью ввода отдельных символов

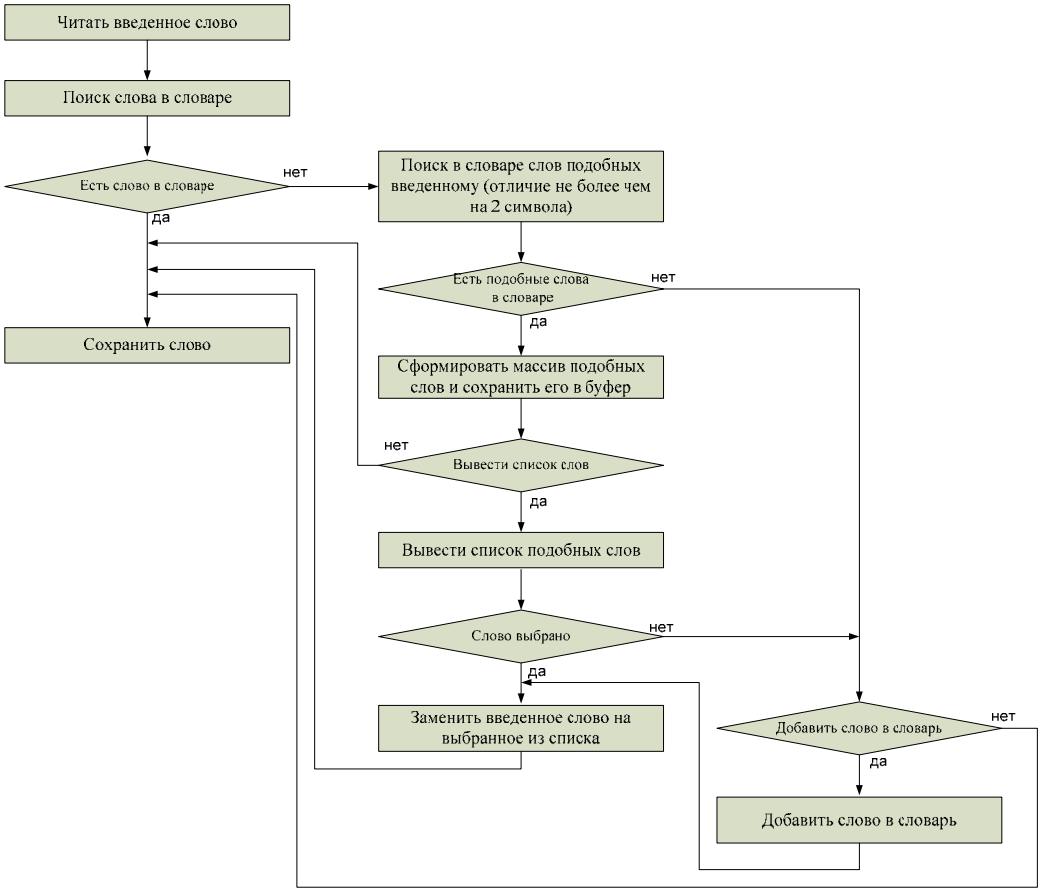


Рис. 3. Алгоритм управления правописанием тестовых заданий на основе словарного метода

При этом формируется четкая система правил, согласно которым производится проверка пунктуации [2].

Рассмотренные в статье автоматизированные подходы организации контроля и управления соответствия ТМ правилам русского языка предполагают обнаружение допущенных автором ошибок при формировании им содержания ТЗ с помощью конструктора тестов и выдачи соответствующих сообщений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тузов В. А.* Функциональная модель русского языка // Экономико-математические исследования: математические модели и информационные технологии. – СПб.: Наука, 2005. – Вып. 4. – С. 80–106.

2. *Лезин Г. В.* О представлении результатов семантико-синтаксического анализа текстов концептуальными моделями данных // Информационные технологии в гуманитарных и общественных науках. Семантический анализ текстов. СПб: СПбЭМИ РАН, 2002. Вып. 12. С. 36–56.

УДК 519.6

Б. Х. Санжапов, И. С. Калина

ОБОСНОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Волгоградский филиал Российского государственного торгово-экономического университета (sbkh@mail.ru)

Предлагается подход к обоснованию проекта программы развития региона. В качестве модели сложной системы используется ориентированный функционально – взвешенный граф. Предложен метод построения нечетких множеств показателей качества, зависящих от характеристик верхнего уровня иерархической системы.

Ключевые слова: нечеткие множества, теория возможностей, экспертные оценки, сложная система.

B. Kh. Sanzhapov, I. S. Kalina

A PROGRAM REALIZATION GROUND OF REGION SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT IN FUZZYNESS

An approach to region program projects studying is proposed. A complex system model is a functionally – weighed graph. The method of construction fuzzy sets quality indexes depending on descriptions top level hierarchical system is offered.

Fuzzy set, the possibility theory, expert estimations, complex system.

Обоснование перспектив развития региона как большой системы должно основываться во многих случаях на моделях и методах системного анализа, теории принятия решений, исследования операций [1–3]. После определения (формулировки) целей и задач, которые поставлены перед регионом как сложной системой, с необходимостью встает вопрос: каковы должны быть оптимальные требования к показателям, характеризующих степень достижения целей, и уровням решения задач, а также к другим характеристикам системы, учитывая технико-экономические возможности реализации тех или иных значений характеристик входящих в систему средств?

Как правило, указанный вопрос решается итеративно, и, обычно, приводит к корректировке первоначально сформулированной целей и задач. Будем считать в дальнейшем, что известны: перечни характеристик $X = (X_1,...,X_n)$ и показателей качества системы $Q = (Q_1,...,Q_L)$; функциональная связь характеристик между собой и зависимость показателей качества от характеристик – требуемые значения показателей качества $Q = (Q_1,...,Q_L)$, заданные в виде нечетких множеств $\bar{Q}_1,...,\bar{Q}_L$; возможные реализации характеристик системы, понимаемые здесь в смысле теории возможностей, и заданные в виде нечетких множеств [4–5].

Под оптимальными требованиями понимается максимизирующие решение пересечения нечетких целей (показателей качества) и ограничений (возможностей) [6].

Таким образом, необходимо найти компромисс между целями, стоящими перед системой, и возможностью реализации тех или иных значений характеристик входящих в нее средств, учитывая нечеткий характер исходной информации.

К основным причинам использования нечетких множеств как аппарата для формализации неполноты исходных данных относятся: уникальность каждого региона; отсутствие надежных статистических оценок характеристик многих параметров; многие значения таких параметров могут быть оценены только экспертным путем, более того, ряд коэффициентов, такие как коэффициенты важности и другие, являются по своей природе нечеткими величинами.

Фактор научно-технического риска при выборе программ социально-экономического развития региона, неопределенность в прогнозе состояния внешней среды и другие делают нецелесообразным задание детерминированных требований к уровням решения стоящих перед системой задач.

Следует заметить, что случае задания четких требований на показатели качества и нечетких возможностей реализации характеристик из определенного множества сводится к определению наиболее возможных (в смысле теории возможностей) значений характеристик, удовлетворяющих четким ограничениям. Например, такими требованиями могут быть: $Q_1 \geq Q_1^0, Q_1$ – показатель качества, который не может быть ниже заданного значения Q_1^0, или $Q_2 \leq Q_2^0$, стоимость реализации проекта программы Q_2 не должна превышать заданного значения Q_2^0.

1. Формализация задачи анализа системы при нечеткой экспертной информации

Исходная информация о характеристиках, показателях качества и функциях связи между ними позволяет построить функционально-взвешенный граф сложной системы. При его построении должны быть устранены неполнота и противоречивость целей.

Общая математическая формулировка задач подобного типа, рассмотренных выше, впервые дана в работе [6]. В тоже время были разработаны и методы решения общей задачи, что привело к возникновению научного направления "нечеткое математическое программирование". В настоящее время имеется значительное количество работ на эту тему, которое вызвано, в первую очередь, многообразием и особенностями практических постановок.

Тем не менее, приемлемых методов для решения рассматриваемой задачи, не разработано. Это обусловлено тем, что общие методы не достаточно эффективны из-за большой размерности множества *X*, частные методы, свою очередь, не учитывают иерархическую структуру системы и связанное с этим существенное упрощение задачи за счет ее декомпозиции на задачи меньшей размерности.

Поэтому целесообразно использовать подход, основанный на использовании теории нечетких множеств и возможностей для обоснования требований к показателям качества и характеристикам сложной системы.

Эффективность этого подхода несомненна, т. к. он может быть применен на начальных этапах исследования программ экономико-социального развития региона, исходя из нечетких целей и возможности реализации к заданному сроку тех или иных значений характеристик системы.

В теоретическом плане здесь основное внимание должно уделяться разработке эффективного метода решения сформулированной общей задачи большой размерности на основе ее декомпозиции.

Предлагаемый подход позволит свести рассматриваемую задачу нелинейного программирования большой размерности к последовательности задач меньшей размерности при некоторых предположениях о структуре взаимосвязей между характеристиками и виде используемых функций принадлежности.

Эффективность реализация метода на ЭВМ показала его применимость к реальным системам. Кроме того, в моделях систем большой размерности одновременная реализация на ЭВМ всех блоков, описывающих отдельные подсистемы, невозможна в силу организационных трудностей: моделирование отдельных подсистем производится, как правило, различными подразделениями.

Эти обстоятельства делают целесообразной такую декомпозицию задачи, которая позволила бы производить независимо оптимизацию отдельных подсистем, а затем координировать локальные решения. Предлагаемый метод позволит учитывать такую особенность, при которой решение оптимизационной задачи подразумевает независимость функционирования отдельных блоков, а именно, информация, полученная от нижележащих блоков, один раз передается снизу вверх, и после ее переработки и решения локальных оптимизационных задач формируется решение общей задачи.

Решаемая координирующая задача оперирует с результатами решения локальных задач, нечеткими целями и возможностями реализации характеристик нижнего уровня.

Основная трудность при разработке таких методов связана с учетом взаимодействия нечетких характеристик, которое обусловлено их зависимостью от одних и тех же характеристик нижнего уровня. Наличие таких характеристик существенно усложняет вычисления даже при простейших операциях и делает невозможным, в общем случае, проведение поэлементной декомпозиции рассматриваемой задачи. Тем не

менее, при вводимых предположениях о монотонности функций связи в системе и квазивогнутости функций принадлежности нечетких переменных и других, возможна поэлементная декомпозиция.

Требования к целям развития системы, задаваемые в виде нечетких множеств

$$\tilde{Q}_1,...,\tilde{Q}_L,$$

предполагаются независимыми, т. е. вместо совокупности этих требований будет рассматриваться одно – декартово произведение

$$\tilde{Q}_1 \times ... \times \tilde{Q}_L.$$

Следует заметить, что задача с зависимыми целями может быть решена предлагаемым методом при выполнении некоторых предположений о характере взаимосвязей.

2. Моделирование исходной информации на основе методов теории нечетких множеств и возможностей

Рассматриваемая выше исходная информация может быть использована при построении дерева целей и задач системы (ДЦЗ) [7]. Фактически функционально-взвешенный граф системы является обобщением ДЦЗ на случай, когда связи между вершинами описываются нелинейными функциями. Для описания взаимосвязей между характеристиками сложной системы определим этот граф как $G = (X, E, F)$ с множеством вершин X множеством дуг [7]

$$E = \{(X_i, X_j) \,|\, X_i, X_j \in X\},$$

значение x_i характеристики X_i зависит от значения x_j характеристики X_j как

$$x_i = f_i(x_{i_1},...,x_{i_n}).$$

Здесь предполагается, что множество вершин, в которые направлены дуги из вершины X_i есть

$$\Gamma_{X_i} = \{X_{i_1},...,X_{i_n}\}.$$

Предположим, что исходный граф не содержит контуров. Такое предположение не является ограничительным. Следовательно, все характеристики сложной системы, представленные этим графом, можно иерархически упорядочить, то есть разбить на непересекающиеся уровни $V_1,...,V_M$ так, что

$$\Gamma_{X_i} = \phi, \forall X_i \in V_M,$$

$$\Gamma^{-1}{}_{X_i} = \phi, \forall X_i \in V_1,$$

и дуги направлены из вершин, принадлежащих уровням с меньшими номерами, в вершины, принадлежащие уровням с большими номерами.

Без ограничения общности предполагается, что значения $q_1,...,q_L$, показателей качества $Q_1,...,Q_L$, зависят только от значений характеристик верхнего уровня

$$V_1 = \{X_{k_1},...,X_{k_p}\} - x_{k_1},...,x_{k_p},$$

то есть

$$q_l = Q_l(x_k, ..., x_{k_p}), l = 1,...,L.$$

При обосновании проекта реализации программы развития региона как сложной системы имеется значительная неопределенность в требованиях на показатели качества, например, обеспечить высокий уровень экологической безопасности проекта и др. Поэтому целесообразно задавать их в виде нечетких множеств

$$\tilde{Q}_l = \{(q_l, \mu_{\tilde{Q}_l}(q_l))\}, q_l \in R^1, l = 1,...,L.$$

Значение $\mu_{\tilde{Q}_l}(q_l)$ характеризует меру соответствия значения q_1 заданному требованию $\tilde{Q}_1$.

Реализация программы развития региона связана со значительными затратами: экономическими, техническими и др. Поэтому необходимо учитывать возможности реализации программы в виде ресурсных ограничений. Это и отличает предложенный подход от известного [7] для решения задач подобного типа. Ограничения на значения характеристик

$$X_j \in V_M = (X_{j_1},...,X_{j_m})$$

нижнего уровня – $x_{j_1},...,x_{j_m}$, таким образом, должны представляться в следующем виде:

$$R_t(x_{j_1},...,x_{j_m}) \le R_t^0, t = \overline{1,T}.$$

Функции в левых частях неравенств являются неубывающими по своим аргументам, а правые части характеризуют возможности реализации проекта по какому-то показателю – представляют ограничения по данному виду ресурса.

Возможности реализации характеристик нижнего уровня моделируется в виде распределения нечетких множеств

$$\tilde{X}_j = \{(x_j, \mu_j(x_j))\}, x_j \in R^1, j = j_1,...,j_m.$$

Здесь $\mu_j(x_j)$ – возможность того, что характеристика X_j может принимать значение x_j.

3. Выбор оптимальной реализации программы развития на основе принципа декомпозиции

Задача определения оптимальных требований к показателям качества и к характеристикам системы основывается на использовании принципа максимизирующего решения в задаче

с нечеткими целями и нечеткими ограничениями [6], которая при учете рассмотренных выше ограничений примет вид оптимизационной задачи по переменным $x_{j_1},...,x_{j_m}$:

$$\mu_{\bar{Q}_1}(q_1)\wedge...\wedge\mu_{\bar{Q}_L}(q_L)\wedge\mu_{j_1}(x_{j_1})\wedge...\wedge\mu_{j_m}(x_{j_m})\to\max.$$

Такая задача является нелинейной со сложной структурой ограничений. Отсутствие в некоторых случаях аналитического описания функций связи между показателями системы, а также большая размерность множества X не позволяет использовать для ее решения стандартные методы нелинейного программирования.

Задача решается при следующих предположениях о виде функций принадлежности нечетких множеств целей и возможностей их реализации. Оптимальное значение – их пересечение может определяться слева от максимальных точек (доставляющих максимальные значения функциям принадлежности их пересечения) только возможностями, а справа – нечеткими показателями качества, согласование первого типа, либо наоборот – согласование второго типа.

Тем не менее, сделанные предположения о связях между переменными, а также, что используемые функции принадлежности являются полунепрерывными сверху, то есть их нечеткие множества являются выпуклыми, замкнутыми и ограниченными, позволяют провести поэлементную декомпозицию [7]. Метод поэлементной декомпозиции предполагает, начиная с характеристик $X_i\in V_{M-1}$, вычисление возможности $\bar{X}_i$, в соответствии с принципом обобщения Л. Заде [4, 6], на основании возможности $\tilde{X}_j$, для всех $X_j\in\Gamma_{X_i}$. Предпоследний этап поэлементной декомпозиции состоит в определении возможности ΠQ_1 реализации различных показателей качества Q_1 по известным возможностям $\tilde{X}_{k_1},...,\tilde{X}_{k_p}$ реализации характеристик верхнего уровня V_1. Последний этап метода заключается в решении задачи

$$\mu_{\bar{Q}_1}(q_1)\wedge...\wedge\mu_{\bar{Q}_L}\wedge\mu_{\Pi Q_1}(q_1)\wedge...\wedge\mu_{\Pi Q_L}(q_L)\to\max,$$

$\mu_{\Pi Q_l}$ – функции принадлежности нечетких множеств

$$\Pi Q_1=\{(q_l,\mu_{\Pi Q_l}(q_l))\},\ l=1,...,L.$$

Следует заметить, что оптимизация в последнем этапе метода производится по переменным $x_{j_1},...,x_{j_m}$ – значениям характеристик последнего уровня V_M.

Заключение

Предложенный подход обоснования проекта программы развития региона позволяет провести предварительный анализ всего множества возможных вариантов реализации. Выбранная модель сложной системы в виде ориентированного функционально – взвешенного графа позволит учесть взаимодействие различных рассматриваемых характеристик. На основании принципа обобщения Л. Заде предложен метод построения нечетких множеств показателей качества, зависящих от характеристик верхнего уровня иерархической системы. Сформулированная задача поиска оптимальных значений характеристик входящих в систему средств при сделанных предположениях не ограничивает существенно класс решаемых задач. Принцип поэлементной декомпозиции при определении оптимальных значений параметров системы позволяет учесть ограничения на значения характеристик последнего уровня иерархической системы, в том числе и ресурсные. Эффективность предложенного подхода подтверждена при решении ряда практических задач [8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проблемы программно-целевого планирования и управления / Под ред. Г. С. Поспелова. М.: Наука, 1981. – 460 с.

2. *Моисеев Н. Н.* Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. – 487 с.

3. *Вентцель Е. С.* Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1988. – 267 с.

4. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. М.: Наука,1986. – 312 с.

5. *Дюбуа Д., Прад А.* Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатике. М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.

6. *Беллман Р., Заде Л.* Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир,1976. – С. 172–215.

7. *Макеев С. П., Пицык В. В., Полуденко В. А.* Согласование целей развития больших технических систем с возможнос-тями реализации их характеристик при нечеткой исходной информации // Изв. АН СССР, Техническая кибернетика. № 5. – 1991. – С. 124–132.

8. *Соболев В. М., Санжапов Б. Х.* Планирование экономического и социального развития региона на примере Волгоградской области). Аналитический подход. – Волгоград: Ведо, 1992. – 128 с.

УДК 004.89

О. А. Шиловский

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ВУЗОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ

Волгоградский государственный технический университет (o.a.shilovskij@vlg.lukoil.ru)

В статье предлагаются подходы к построению систем поддержки принятия решений на уровне менеджеров среднего звена, используя интеллектуальные платформы обработки данных.

Ключевые слова: системы поддержки принятия решений, аналитические платформы, задачи управления.

O. A. Shilovskiy

USING DECISION SUPPORT SYSTEM FOR UNIVERSITY MANAGEMENT TASKS WITH ANALYTICS PLATFORM

Some approaches to building analytics system for middle-manager which uses in work decision support system. Analytics platform for decision support system. Management system. Decision tree.

Управление деятельностью университета – задача сложная и емкая, которая должна быть направлена не просто на повышение значения отдельных показателей, но и на увеличение общей эффективности.

Вопрос о том, какая именно деятельность университета считается эффективной, должен потерять актуальность, потому что необходимо рассматривать вуз как совокупность научной, образовательной и финансово-экономической деятельности.

Качественной, можно назвать деятельность, если она удовлетворяет целям и нормам, провозглашенным академическим сообществом и соответствует современным социально-экономическим условиям, а так же тенденциям развития образования.

В течение последних 8–10 лет сформировалась система принципов, положенных в основу управления университетом:

1) системность (система административного управления должна охватывать все стороны деятельности университета);

2) децентрализация (разграничение компетенции, полномочий и ответственности между ректором, ректоратом, факультетами, кафедрами; Ученым советом университета и Учеными советами факультетов);

3) самостоятельность факультетов в разработке профессиональных образовательных программ, учебных планов, образовательных технологий и методик и в распределении средств (бюджетных, внебюджетных в пределах установленных нормативов);

4) ответственность подразделений (факультетов, кафедр, административных служб) за качество своей деятельности;

5) эффективность управляющих воздействий (возможность оценивания влияния управляющих воздействий на качество деятельности университета);

6) открытость и гласность в действиях ректората и администраторов всех уровней;

7) нормативно-правовая обеспеченность управленческой деятельности;

8) сочетание управления "по результатам" с управлением "по ситуации".

На сегодняшний день в ВолгГТУ, для внутренней оценки качества деятельности вуза и подразделений, разработана методика рейтинговой оценки деятельности преподавателей, кафедр и факультетов [1, 2], которая позволяет эффективно управлять деятельностью всех подразделений университета. Ежегодно изменяя коэффициенты веса отдельных показателей работы, можно нацелить указанную деятельность на решение текущих задач университета, на подтягивание отстающих участков работы. Вместе с тем существующая рейтинговая система оценок дает возможность провести анализ с целью улучшения ее практически по всем параметрам.

Для составления базовых показателей эффективности используются материалы из официальных статистических данных университета. Их можно разделить на две группы:

1) показатели внутреннего качества образования (инфраструктура образовательных учреждений, кадровый и научный потенциал, содержание образования, структура (номенклатура) специальностей, уровень знаний учащихся и выпускников и др.);

2) показатели "внешнего качества" образования (средний образовательный ценз, массовость образования, доступность высшего образования, государственность образования) [3].

Выше приведенные показатели формируют интегральный показатель университета, который является основным при сравнении университета с другими учебными заведениями и рейтинга на федеральном уровне.

Вследствие того, что веса показателей задаются исходя из опыта прошлых лет, основываясь на личном опыте группы людей производящей оценку, имеет смысл расширить существующую

методику и разработать автоматизированную систему, которая будет способна производить расчет показателей, основываясь на исторических данных, используя современные инструменты интеллектуального анализа, а так же предоставлять руководству инструменты для мониторинга и интерпретации текущей ситуации.

Очевидно, что принимаемые решения о стратегии и тактике деятельности и развития вуза должны быть тщательно продуманы и обоснованы. В социально-экономических системах это важно, так как принимаемые решения касаются живых людей, их материального и духовного состояния, а поведение таких систем трудно предсказать из-за наличия огромного количества прямых и обратных связей, часто неочевидных с первого взгляда. Человек не способен справиться с задачей такой размерности, в связи с чем, и возникла необходимость обеспечить автоматизированный подход к расчету показателей эффективности деятельности вуза. Разнообразные способы оценки ставят проблему выработки качественного результата оценки деятельности учебного заведения. Методики, в которых используются методы экспертных оценок или какие-либо другие методы, не исключающие человеческий фактор, могут быть не достоверными или даже нести в себе диаметрально противоположные выводы. Для повышения эффективности принимаемых решений и охвата большего количества показателей, необходимо использовать методику, которая будет основана на реальной информации о деятельности вуза. При наличии таких данных, у аналитиков появляется основание для выработки решений об оптимизации тех или иных параметров, влияющих на целевой показатель деятельности вуза.

По оценке компании Hewlett–Packard, объем данных, которые перерабатывают ИТ-системы предприятий, каждый год увеличивается на 55 %. В результате управление становится все более сложным и трудоемким делом. Руководство должно иметь инструмент для повышения эффективности своей работы. Подобных инструментов, в перспективе, может появиться несколько. Один из них – наиболее отработанный – аналитические платформы. Это программные комплексы, которые позволяют создавать приложения для обработки поступающих данных, их интеграции и составления аналитических отчетов. Подобные решения уже создают ведущие производители ПО, такие как Oracle и SAP.

Другая методология, которая, которая сегодня находится еще в стадии разработки – анализ неструктурированных текстовых данных. Задача этой технологии – из разрозненной информации на основе поиска закономерностей собрать структурированные данные для их дальнейшей переработки. Данная технология является частью системы поддержки принятия решения, включающей в себя целый ряд средств, объединенных общей целью – способствовать принятию рациональных и эффективных управленческих решений.

Система поддержки принятия решений – это диалоговая автоматизированная система, использующая правила принятия решений и соответствующие модели с базами данных, а также интерактивный процесс моделирования. Она предназначена для выбора наилучших альтернатив на основе информации, получаемой от лица, принимающего решения.

Существующий процесс оценки качества деятельности вуза состоит из нескольких стадий, большая часть которых может быть автоматизирована. Актуальной является автоматизации средств сбора данных, модуля вычисления интегрального показателя эффективности с помощью методов интеллектуального анализа. Основной задачей автоматизации является поддержка принятия решений в задачах повышения рейтинговой оценки вуза. Процесс принятия решений при использовании аналитической системы состоит из нескольких этапов.

На первом этапе работы АС необходимо определить, какие из показателей будут считаться параметрами, а из каких будет состоять интегральный показатель.

Интегральный показатель – значение некоторой функции f от набора производных показателей. Методика его расчета может быть абсолютно произвольной и состоять из сколь угодно большого количества производных показателей. Как правило, используется методика, утвержденная Министерством образования РФ [3].

Показателем (производным показателем) будет считаться, значение которое можно вычислить при помощи алгебраических действий над параметрами из любой сущности БД $\left\{W_1^B, W_2^B, W_3^B, ..., W_n^B\right\} \in W^{\text{В}}$. Где $W^{\text{В}}$ – набор параметров. Эти показатели дают внешнюю характеристику вуза.

Параметр – характеристика внутренней деятельности вуза, описывающая состояние материальных, финансовых, людских или научных ресурсов. Параметры могут быть независимые и управляющие. Независимые параметры – характеризуют факторы развития вуза, которые невозможно изменить административными мерами (приказами, распоряжениями и др.) Управляющие параметры можно варьировать в зависимости от наличия ресурсов. Обобщенная структура показателей приведена на рис. 1.

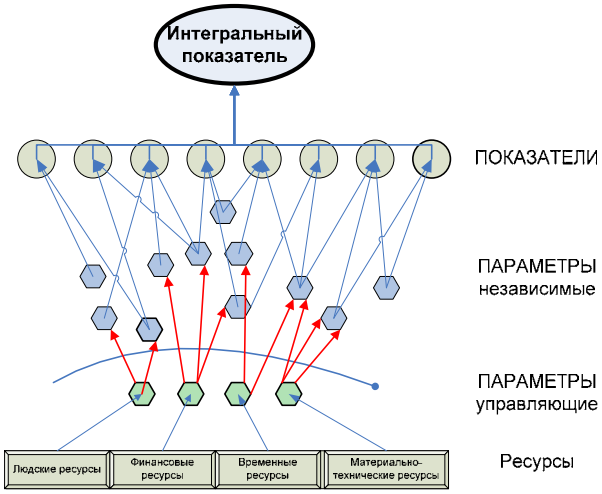


Рис. 1. Структура зависимости показателей и параметров

На втором шаге, для расчета интегрального показателя, необходимо для каждого показателя выделить группу параметров, из которых этот производный показатель может вычисляться. Для этого необходимо для каждой таблицы хранилища построить Data Mining модель с целью исследования или изучения моделируемого объекта, процесса, явления и получения новых знаний, необходимых для принятия решений. Использование моделей Data Mining позволяет определить наилучшее решение в конкретной ситуации. Затем для построенной модели назначить алгоритм, которым эта модель будет обрабатываться. Рассчитать величины связей между параметрами и показателями можно методом Байеса, который будет для каждого параметра считать величину связи этого параметра с другими, а так же с помощью него можно построить матрицу, характеризующий каждый из параметров. Для этого необходимо чтобы алгоритм прошел все итерации своей работы и произвел тренировку на данных из хранилища.

На третьем шаге ЛПР необходимо устранить параметры, которые слабо связанны с показателями. Вес связи может быть извлечен из матрицы, построенной на предыдущем шаге методом Байеса, а затем установлен на уровне, который требуется ЛПР для проведения анализа. Если параметр оказывается несвязанным с другими параметрами и показателем, то он убирается из модели или помечается как игнорируемый в рамках данной модели.

Для того, чтобы выявить функциональную зависимость показателей и параметров необходимо воспользоваться математическими методами. Модель, полученная на шаге 3, тренируется на данных из хранилища и выдает таблицу, из которой можно построить функциональную зависимость показателя вида $I = \bar{f}(\bar{g}(\overline{W}^B)$, где g – функциональная зависимость показателей от параметров, а f – функциональная зависимость интегрального показателя от производных показателей.

Основная задача этой стадии сформировать зависимость и выявить, как влияет тот или иной показатель на интегральный показатель I, а так же каким образом параметры $\overline{W}$ влияют на интегральный показатель.

Из этих зависимостей формируются гипотезы о том, что нужно сделать, для того чтобы повысить значение интегрального показателя.

Под гипотезой h мы подразумеваем набор из трех элементов $h = (W, O, V)$. Где, W – множество управляющих параметров, относительно которых высказывается гипотеза. Оно может быть конечным; O – конечный набор средств наблюдения или измерения; V – словарь или конечный набор символов для записи результатов наблюдений;

После получения гипотез, вероятностная оценка которых подходит ЛПР для решаемых задач, необходимо интерпретировать полученные гипотезы для ЛПР.

Затем необходимо выделить гипотезы, в которых управляющие параметры имеют наибольшие коэффициенты, что дает возможность расставить приоритеты надо последующим распределением ресурсов и выделить их актуальность.

В настоящее время разработан прототип системы, позволяющий осуществлять сбор данных и провести предварительный анализ работы в сравнении с существующей методикой. Предполагается, что существующие показатели не должны отличаться от расчетных, а в некоторых случаях превосходить их по точности по причине использования статистических накопленных данных. Располагая множеством аналитических платформ представляющих возможность проводить анализ и поиск зависимостей, нет смысла изобретать новые алгоритмы и сосредоточить внимание на создании единой структуры хранилища данных, которое будет служить источником оперативной информации, для статического и динамического анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кучеров В. Г, Подлеснов В. Н., Попов Ю. В., Андросюк Е. Р.* Самостоятельная работа студентов в техническом вузе: научно-методические основы и практика: Учеб. пособие. – 2-е изд. с изм. / ВолгГТУ. – Волгоград, 1999. – 118 с.

2. Рейтинговая система / Попов Ю., Подлеснов В., Садовников В., Андросюк Е., Кучеров В. // Высшее образование в России. – 2001. – № 4. – С. 131–137.

3. Примерная методика организации структурно-функционального анализа деятельности вуза / Серия: Нормативно-методическое обеспечение мониторинга качества образования в России. Под научной редакцией д-ра техн. наук, проф., Н. А. Селезневой; д-ра экон. наук, д-ра филос. наук А. И. Субетто – М.: Исследовательский центр по проблемам качества подготовки специалистов, 2001 – 34 с.

УДК 004.896

Е. А. Шуляков

УЧЕБНЫЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Камышинский технологический институт (филиал) ВолгГТУ (j_lancer@mail.ru)

Данная статья посвящена описанию средства обучения программированию микропроцессорных систем. В статье производится анализ существующих робототехнических разработок, приводятся преимущества разработанной системы. Описываются функциональные возможности и структура самого комплекса. Определяются области возможного применения комплекса в образовательном процессе.

Ключевые слова: роботы, робототехника, микропроцессорные системы, мобильные роботы.

E. A. Shuliakov

EDUCATIONAL ROBOTICS COMPLEX

The current article is dedicated to describing of microprocessors system programming mean. The analysis of existing robotics systems has been made and the advantages of developed system have been presented in this article. The functional abilities and the structure of the complex have been described. The range of use of the complex in the educational process is presented.

Robots, robotics, microprocessor systems, mobile robots.

В настоящее время широкое распространение в мире получили системы различного назначения на базе микроконтроллеров. Подобные системы можно встретить в промышленности, военной технике, медицине и еще многих областях науки и техники. Достоинствами современных моделей микроконтроллеров являются их доступность, относительно невысокая стоимость и простота программирования. Развитие технологии Flash памяти породило развитие моделей микроконтроллеров с большим ресурсом возможности перепрограммирования. Микроконтроллер может управлять различными устройствами и принимать от них данные при минимуме дополнительных узлов, так как большое число периферийных схем уже имеется непосредственно на кристалле микроконтроллера. Это позволяет уменьшить размеры конструкции и снизить потребление энергии [1]. Все эти достоинства обуславливают высокий интерес и актуальность темы микропроцессорных систем.

Важной проблемой на пути развития микропроцессорных систем является проблема обучения программированию микроконтроллеров. В частности проблема заключается в отсутствии наглядных и доступных технических средств обучения. Существующие учебные системы в большинстве случаев носят узкоспециализированный характер и требуют глубоких знаний и навыков работы с микропроцессорной электроникой. Примерами таких обучающих систем являются разнообразные макетные платы, платы развития, отдельные микропроцессорные модули. Применять подобные системы в обучении в общетехнических специальностях затруднительно. При рассмотрении микропроцессорных систем в робототехнике, выявилась следующая закономерность – практически все готовые решения можно разбить на три большие группы:

1. Коммерческие робототехнические системы с ограниченной функциональностью. Являются, по сути, игрушками. Техническая информация закрыта. Возможность программирования отсутствуют, либо ограничена.

2. Любительские проекты. Большинство из них носит незаконченный характер, однако техническая информация, как правило, открыта.

3. Коммерческие проекты, либо научные разработки высокой степени сложности. Конечные робототехнические решения для конкретных задач (промышленные роботы, манипуляторы, интеллектуальные роботы, бытовые роботы). Характеризуются высокой стоимостью и недоступностью технической информации.

Пригодными для применения в обучении, при некоторой доработке, можно признать лишь робототехнические решения второй группы. За рубежом, в отличие от России, подобная проблема стоит не так остро. По моему мнению, главной причиной такой ситуации является широкое развитие на западе средств любительской робототехники, таких как разнообразные готовые робототехнические модули, компоненты робототехнических систем и даже готовые робототехнические системы учебного назначения.

Данная работа направлена на создание недорогого и доступного средства обучения программированию микроконтроллеров в виде учебного робототехнического комплекса. Комплекс в целом позволяет студентам весьма подробно проводить все этапы разработки программ для платформы на базе современного микроконтроллера, начиная от написания текста программы и до непосредственного исполнения программы на действующей модели.

Основой комплекса является действующая модель робота. Главной проблемой при проектировании модели является выбор средств аппаратной реализации, а именно выбора модели микроконтроллера. Основные критерии при решении данной задачи обосновываются учебным назначением комплекса. В качестве таковых выбраны актуальность изучения данной модели микроконтроллера, простота и доступность программирования микроконтроллера. В качестве альтернатив рассмотрены два наиболее популярных семейства микроконтроллеров: PIC компании Microchip и AVR компании Atmel. В соответствии с поставленными задачами было выбрано семейство AVR. Определяющими факторами такого выбора явились следующие факты. Микроконтроллеры данного семейства очень часто можно встретить как в любительских, так и в промышленных проектах. Таким образом, микроконтроллеры и востребованы и широко поддерживаются разработчиками, то есть по ним всегда можно найти материал в виде технических описаний, примеров схем, примеров программ и другую полезную информацию. Существенной так же является возможность многократного внутрисхемного перепрограммирования. Реализация технических средств программирования микроконтроллеров AVR проще реализации средств программирования микроконтроллеров PIC.

Конечный состав учебного робототехнического комплекса определен следующим образом: среда программирования, действующая модель робота, программатор, а так же три программы-примера демонстрирующие возможности робота, а именно реализующие алгоритмы движения с обходом препятствий.

Интегрированная среда программирования обеспечивает написание текста программы, проверку синтаксиса, компиляцию текста программы, отладку программы и непосредственно запись программы в память микроконтроллера с помощью программатора. Для данного комплекса в качестве среды разработки программ выбрана CodeVisionAVR.

Модель робота показана на рис. 1. Модель робота предназначена для наглядного исполнения программ, обучению студентов процессу программирования микроконтроллеров на практике. Модель позволяет демонстрировать различные алгоритмы движения с использованием информации об окружающей среде, получаемой при помощи датчиков.

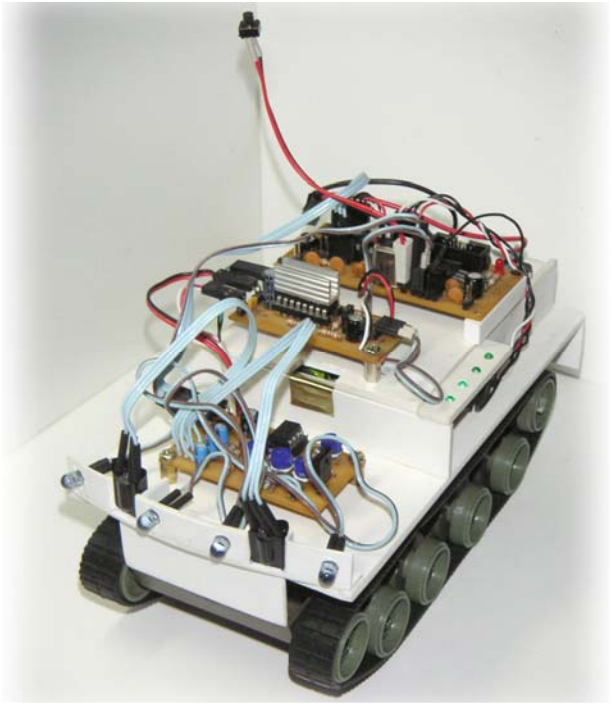


Рис. 1. Модель робота, входящая в состав УРТК

Так же, возможно использование электрической принципиальной схемы и печатных плат модели робота в качестве наглядного примера подключения к микроконтроллеру внешних устройств.

Система управления робота построена на базе микроконтроллера ATMega 8L. Данный микроконтроллер имеет достаточный объем памяти, легко программируется и имеет невысокую стоимость. Так же немаловажен тот факт, что система команд и принципы подключения устройств данного семейства при переходе от младших моделей к старшим не меняются. Таким образом, освоив работу с начальными моделями семейства, можно без труда освоить и более мощные модели контроллеров [2].

Помимо микропроцессорного модуля управления электроника модели робота включает модуль управления двигателями и модуль инфракрасных датчиков отражения. Для обеспечения наглядности режимов работы модель робота оснащена светодиодной индикаторной панелью. В таком составе электроника робота позволяет принимать информацию о наличии препятствия от двух фронтальных датчиков отражения, обрабатывать полученную информацию программой микроконтроллера и выдавать управляющие воздействия на два двигателя платформы, таким образом, управляя движением робота.

Программатор предназначен для обеспечения процесса записи программы, разработан-

ной в интегрированной среде разработки, в память программ микроконтроллера. Схема программатора открыто предоставляется на сайте компании Atmel.

Результатом данной работы является учебный робототехнический комплекс, который можно считать полноценным средством обучения студентов программированию микроконтроллеров.

Разработанный комплекс позволяет:

- Осуществлять разработку программ управления роботом на языке Си, либо Ассемблер.
- Производить многократное внутрисхемное перепрограммирование контроллера робота.
- Демонстрировать выполнение разработанных программ на действующей модели робота.

Применение в обучении комплекса или нескольких подобных комплексов может проходить по следующей схеме:

- Получение студентом индивидуального задания преподавателя на программную реализацию алгоритма движения робота.
- Написание студентом текста программы.
- Программирование робота и демонстрация программы.
- Анализ и исправление ошибок.

Важным моментом данной схеме является процесс отладки и поиска ошибок. Применительно к данному комплексу подразумевается, что проверка корректности исполнения алгоритмов производится на действующей модели робота, а не на виртуальных средствах эмуляции. С точки зрения эффективности разработки программ такой подход не является наилучшим. Однако, как мне кажется, именно поиск ошибок в условиях реальной, но не слишком сложной технической модели приведет к более детальному и осмысленному пониманию принципов и особенностей программирования микропроцессорных средств. Следует отметить, что часть функций используемой в проекте модели микроконтроллера остались неиспользованными. Это позволяет на базе уже разработанных схем и печатных плат в дальнейшем проектировать новые модели роботов или иные учебные модули. Используя перечисленные возможности, комплекс может быть внедрен в учебные дисциплины, связанные с программирования микроконтроллеров или робототехникой.

Основным преимуществом данного комплекса является наглядность обучения, при которой студент имеет возможность увидеть результат своей работы в действиях робота. При этом сам процесс обучения носит игровой характер, что повышает интерес к обучению.

В настоящее время модель робота, входящая в состав комплекса, используется в качестве наглядного примера робототехнической системы в рамках дисциплины "Гибкие автоматизированные производства, робототехника и САПР". В связи с тем, что комплекс существует в единичном экземпляре, его фактическое применение для обучения программированию микроконтроллеров в рамках как-либо из дисциплин затруднительно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Голубцов М. С., Кириченкова А. В.* Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному. – М.: Солон-Р, 2005. – 302 с.

2. *Евстифеев А. В.* Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы Atmel. – М.: Додэка XXI, 2005. – 560 с.

УДК 658

Ю. Г. Шушков

ПОДДЕРЖКА ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КОМАНДЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВНЕШНЕГО IT ПРОЕКТА

Волгоградский государственный технический университет (shushkov@gmail.com)

Данная работа посвящена описанию предложенного подхода формирования команды разработки внешнего IT проекта. В работе описаны модели сотрудника, заказа, а так же этапы подход формирования команды.

Ключевые слова: команда разработки, IT проект, модель сотрудника.

U. G. Shushkov

SUPPORT OF PROCESS OF FORMATION OF A COMMAND FOR WORKING OUTSOURCING IT THE PROJECT

The given work is devoted the description of the offered approach of formation of a command of working out external IT the project. In work models of the employee, the order, and as stages the approach of formation of a command are described.

Command of developers, IT the project, model of the employee.

В настоящее время существует четыре подхода к организации предприятий – структурный, функциональный, процессный и проектный. Большинство организаций, занимающихся информационными системами, используют проектный подход для организации

предприятия [2]. Формирование проектной команды зачастую производится на основе неформализованных предпочтений руководителя проекта [1]. Мы разработали модель, которая позволяет формализовать процесс формирования команды.

В терминах модели команда представляет собой некоторое множество сотрудников, обладающими уникальными опытом и знаниями.

Каждого сотрудника организации можно описать:

$$s = \langle fio, d, n, t \rangle,$$

где fio – фамилия имя отчество сотрудника, d – список должностей, которые занимает сотрудник, n – дерево профессиональных навыков и умений, $t = \{t_{di}\}$ – процент занятости сотрудника в других проектах, где t_{di} – занятость в день di.

Дерево профессиональных навыков и умений представляет

$$n = \langle nn, rn, cn \rangle,$$

где nn – множество вершин, rn – множество связей, cn – значимость, вес навыка и умения. При этом на листе дерева максимальный вес равен 1 – это показывает, что сотрудник в области знаний является экспертом. Вес на уровне отличном от листа определяется как:

$$cn_i = \sum cn_{i-1},$$

где cn_{i-1} – вес дочерней вершины.

Сотрудники включены в один или несколько информационных проектов.

Таким образом, модель можно записать как:

$$Mf = \langle S, Z \rangle,$$

где S – сотрудники организации $S = \{s\}$, Z – заказ.

Заказ описывается как:

$$Z = \langle pz, dtz \rangle,$$

где pz – дерево заказа, ptz – срок сдачи заказа.

Дерево заказа представляет собой:

$$pz = \langle npz, rpz, tpz \rangle,$$

где npz – множество вершин, rpz – множество связей, tpz – множество человеко-часов эксперта ($cn = 1$).

Исходя из представления профессиональных знаний и заказа в виде деревьев – задача формирования команды сводиться к определению близости дерева не занятого или частично-незанятого сотрудник к дереву заказа. Под частично-незанятым понимается сотрудник, время работы которого меньше нормы рабочего времени в день. Задача формирования решается в 3 этапа:

I. Построение проекции дерева заказа на дерево знаний каждого анализируемого сотрудника

II. Расчет полученной проекции

III. Сравнение полученных деревьев

I. Построение проекции дерева заказа на дерево знаний сотрудника производиться по следующим правилам:

1) направление операции от корня дерева к листьям;

2) если проецируемой вершины нет в дереве знаний сотрудника, то вершина переноситься с удельным весом $cn_{\min}$;

3) если проецируемая вершина уже есть в дереве знаний сотрудника, то ее вес остается прежним.

II. Расчет проекции производится по следующим правилам:

1) расчет производится в направлении от листьев к корню дерева

2) расчет веса родительской вершины производится по формуле:

$$cn_i = \sum cn_{i-1},$$

где cn_{i-1} вес дочерней вершины.

III. Сравнение деревьев производится по следующим правилам:

1) сравнение производится в направление от корня дерева до листьев, слева направо

2) при каждом сравнении выбирается не занятый или частично не занятый сотрудник, который имеет не нулевой вес для анализируемого узла

3) для каждого сотрудника определим следующие параметры:

a. Рассчитываем трудозатраты для сотрудника:

$$tz = \frac{tpz_i}{cn_i},$$

где tpz_i – трудозатраты профессионала в данной области на выполнение задания

b. Определим сколько времени сотрудник может участвовать в проекте:

$$t_i = \sum_j \left(1 - t_{dji}\right) \cdot \eta$$

где η – норма рабочего времени

c. Если $tz_i < t_i$ (1), тогда занятость по дням в проектах у сотрудника будет:

$$t_{dj} = t_{dj} + \frac{tpz_i}{cn_i \cdot \eta \cdot j}$$

$$tpz_i = 0$$

иначе (2):

$$t_{dj} = 1,$$

$$tpz_i = tpz_i - \sum_j \left(1 - t_{dji}\right) \cdot \eta$$

d. Определим список занятых сотрудников и нагрузку на каждого сотрудника, решив задачу о распределения ресурса в сети [3], где вес i-й дуги j-го сотрудника будет равен tpz_{ij}

4) если в результате сравнения $\{s\} = \emptyset$ и $\{tpz_i\} \neq \emptyset$, то необходимо либо увеличение штата, либо обучение сотрудников.

5) если расширение штата и обучение не требуется, то определим продолжительность проекта, решив задачу продолжительности проекта [3].

Алгоритм определение предметных областей для базового обучения сотрудников

1. Построим объединение деревьев знаний сотрудников:

$$nn = \bigcup_i n_i$$

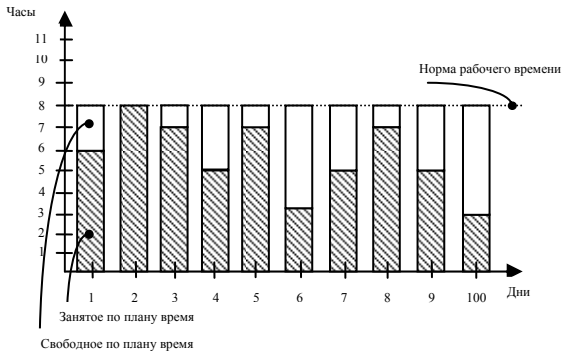
2. Для построения предметной области обучения сотрудников пересечем дерево знаний сотрудников компании и дерево заказа:

$$Zn = nn \bigcap pz$$

3. Для успешного выполнения проекта необходимо обучить сотрудников по дереву Zn .

График загруженности сотрудника и матрица свободного времени

Сформируем график загруженности сотрудника s_i :



Тогда матрица T – есть занятость сотрудников, где I – есть номер сотрудника, j – день в графике, а $T[i, j]$ – занятость сотрудника (в часах).

Матрица свободного времени F будет иметь вид:

$$F[i, j] = \eta - T[i, j].$$

Выводы

Построенная модель и приведенные алгоритмы позволяют определить команду сотрудников для выполнения информационного проекта и спланировать время работы сотрудника по проекту в графике загруженности сотрудника. Программная реализация описанной модели даст менеджеру проекта инструмент для формирования команды, оценки трудозатрат, продолжительности проекта, формирования планового обучения сотрудников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Новиков Д. А.* Модели формирования и функционирования неоднородных команд // Управление большими системами. Сборник трудов. Выпуск 18. – М. , 2007. – С. 73–90.

2. *Кочиева Т. Б., Новиков Д. А.* Базовые системы стимулирования М., 2000. – С. 108.

3. *Бурков В. Н., Заложнев А. Ю., Новиков Д. А.* Теория графов в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2001. – 124 с.

УДК 004.47

О. В. Щербинина, Н. Ю. Кожевникова

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АУДИТОРНЫМ ФОНДОМ В ЗАДАЧЕ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ В ВУЗЕ

Астраханский государственный университет (oksana@aspu.ru, nina.kozhevnikova@aspu.ru)

В статье описана задача составления расписания учебных занятий в вузе, описаны основные критерии качества расписания. Проведен анализ и предложены возможные пути реорганизации процесса составления расписания: централизация сбора, хранения и обработки исходных данных; введения оперативного управления аудиторным фондом. В работе обоснована необходимость проведения реорганизационных мероприятий, в первую очередь в связи с внедрением частичной автоматизации данного процесса. Задача оперативного управления аудиторным фондом является одной из наиболее актуальных при организации процесса составления расписания занятий.

Ключевые слова: расписание занятий, оперативное управление, аудиторный фонд.

O. Scherbinina, N. Kozhevnikova

AUDITORIUM FUND OPERATING CONTROL IN THE TASK OF UNIVERSITY TIMETABLE

The article describes the task of university timetable development and basic criterions of timetable quality. On the base of analysis possible ways of timetable development process are proposed: input data gathering, storage and processing centralization, auditorium fund operating control. Necessity of restructuring activities related to the partial automation of this process. The task of auditorium fund operating control is one of the most relevant tasks of timetable development process organization.

Timetable, operating control, auditorium fund.

В настоящее время наблюдается тенденция к расширению сфер обучения в российских вузах, что приводит к появлению новых направлений обучения и, как следствие, новых факультетов, специальностей и т. д. Но этот процесс не только открывает новые возможности, но и ставит новые задачи по оптимизации учебного процесса. Проблема повышения качества образования в вузах обуславливает необходимость постоянного совершенствования организации учебного процесса и в первую очередь повышения качества решения основных организационных задач, в том числе задачи формирования расписания учебных занятий.

Увеличение количества специальностей, дисциплин, учебных групп приводит к тому, что процесс составления расписания учебных занятий в вузе становится все более и более трудоемким. Таким образом, все более актуальным является вопрос о поиске оптимального организационного решения данной задачи и, следовательно, об автоматизации данного процесса.

Расписание занятий вуза имеет ряд особенностей, отличающих его от любого другого расписания. Прежде всего, это несколько составляющих, среди которых можно выделить расписания занятий очного отделения, заочного отделения и экзаменационных сессий.

Все три составляющие расписания, по сути, являются независимыми друг друга, но фактически отделить их друг от друга представляется невозможным в виду использования общего аудиторного фонда и необходимости задействования единого преподавательского состава. В циклическом процессе планирования учебных занятий существует две точки максимальной загруженности, которыми являются середина и конец учебного года. Максимальная загруженность обусловлена возможностью пересечения расписаний по двум из трех основных составляющих: преподаватель и аудитория, т. к. на различных специальностях очного отделения экзаменационные сессии могут начинаться в различные сроки, а блочные занятия и экзаменационная сессия заочного отделения, как правило, совпадает с концом семестра и экзаменационной сессией очного отделения. Все это необходимо учитывать при планировании загруженности аудиторного фонда и преподавательского состава.

Расписание учебных занятий вуза (в первую очередь для очного отделения) представляет собой результат распределения учебных занятий по учебным неделям с указанием преподавателя, времени и места проведения занятий. Должны быть устранены все накладки, неизбежно возникающие в процессе составления расписаний, занятия должны быть распределены на соответствующие смены и в подходящие для них по типу и объему аудитории. Кроме того, должны быть по возможности учтены пожелания отдельных преподавателей относительно их занятий. Расписание составляется без "окон" для учебных групп с учетом особенностей учебного заведения, учебно-методических и нормативных документов учебно-методического управления, норм СанПиН. Таким образом, при составлении расписания необходимо учитывать большое число факторов, среди которых:

- Временные факторы;
- Временной фонд, заданный в учебных планах;
- Допустимый диапазон пар для каждой группы;

- Временной режим каждого преподавателя;
- Факторы, связанные с взаимным расположением занятий;
- Максимальное число занятий для каждой группы в каждый день недели;
- Необходимое время для перехода из корпуса в корпус;
- Группировка по 2 и более занятий непрерывно;
- Имеющийся аудиторный фонд;
- Список допустимых аудиторий для каждого предмета;
- Список допустимых типов аудиторий для каждого предмета;
- Список допустимых корпусов для каждого предмета;

Основные этапы формирования расписания представлены на рисунке.

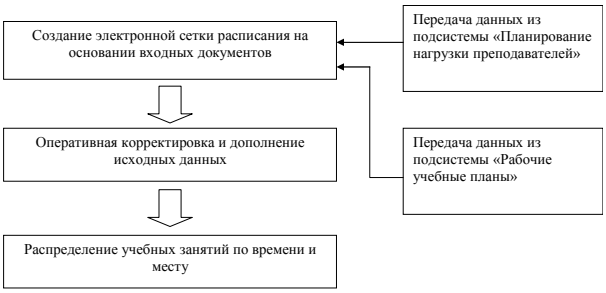


Рис. 1. Основные этапы формирования расписания

Электронная сетка расписания формируется на основе информации из рабочих (семестровых) учебных планов и нагрузок преподавателей по кафедрам. Эти данные должны поступать от подсистем "Рабочие учебные планы" и "Распределение нагрузки преподавателей на кафедрах" в соответствии с определенными алгоритмами взаимодействия и подвергаться соответствующей обработке. Это позволяет минимизировать ручной ввод информации, на основе которой формируется сетка расписания, и как следствие свести к минимуму возможность появления некорректных данных.

На этапе взаимодействия с подсистемой "Рабочие учебные планы" осуществляется обработка данных и приведение их в соответствие с требованиями к данным подсистемы "Расписание учебных занятий".

На этапе выборки из рабочих учебных планов сведений, участвующих в составлении расписания, происходит отбор рабочих учебных планов на текущий год обучения. При этом учитываются следующие условия: на дневном отделении занятия ставятся в расписании равномерно в течение семестра, на заочном – блочно, для каждой специальности в интервалы времени, определяемые деканатом. Ввиду того, что для дневного отделения занятия по большинству дисциплин начинаются с начала семестра, а для заочного – в зависимости от специальности, но в тоже время занятия на обоих отделениях могут вести одни и те же преподаватели, при составлении расписания для заочного отделения необходимо учитывать занятость преподавателей. Поэтому для каждой элементарной единицы расписания целесообразно хранить ссылку на соответствующую форму обучения.

На следующем этапе выполняется анализ понедельного распределения часов учебных занятий. После чего производится распределение данных о занятиях из рабочих учебных планов на элементарные единицы расписания. Элементарная единица расписания соответствует одной паре, проставленной в расписании. На данном этапе при необходимости в зависимости от вида занятий группы разбиваются на подгруппы и решаются вопросы, связанные со спецификой учебного заведения.

По завершении вышеперечисленных этапов преобразования исходной информации база данных готова к корректировке данных о преподавателях и аудиторном фонде, а также к внесению данных о нагрузке преподавателей.

Для оптимального функционирования системы формирования расписания учебных занятий необходимо обеспечить централизованное хранение и обработку данных, что позволит обеспечить возможность совместного использования информации многими пользователями. При этом достигается высокий уровень целостности, и создаются условия для разработки и успешного функционирования автоматизированной системы формирования расписания занятий.

Но попытка перейти к централизованному хранению данных сталкивается с рядом проблем. Любой вуз представляет собой совокупность множества структурных единиц различного уровня, каждая из которых может самостоятельно устанавливать свои обозначения и определять структуры хранения данных. Прежде чем удастся перейти к единой централизованной системе хранения данных необходимо обобщить данные, разработать единую систему обозначений, а также регламентировать ее.

Оперативное управление аудиторным фондом является одной из важнейших составляю-

щих оперативного решения задачи оптимизационного составления расписания учебных занятий. К задачам управления аудиторным фондом вуза можно отнести:

1. Ведение аудиторного фонда (назначение, вместимость, удаленность);
2. Закрепление аудиторий (за кафедрами, преподавателями, дисциплинами);
3. Оперативное распределение аудиторного фонда во времени;
4. Долговременное распределение аудиторного фонда;
5. Проведение занятий вне учебных корпусов;
6. Обработка статистики об эффективности использования аудиторного фонда для учебного процесса.

Назначение аудитории определяется в зависимости от типа проводимых в ней занятий (лекционные, практические, лаборатории, компьютерные классы и т. д.). Удаленность аудиторий делится на удаленность аудиторий в рамках одного учебного корпуса и удаленность учебных корпусов.

Задача планирования и распределения аудиторного фонда может включать в себя следующие подзадачи:

- резервирование аудиторий;
- выделение аудитории под блочное расписание (занятия заочного отделения, экзаменационные сессии, конференции и т. п.);
- оперативное выделение аудиторного фонда для проведения незапланированных мероприятий (курсы, конференции и т. д.)
- снятие аудитории из расписания (проведение работ, ремонт и т.п).

Решение всех задач, связанных с планированием аудиторного фонда, в той или иной мере зависит от характеристик аудиторного фонда. В настоящее время все занятия можно разделить на две категории: занятия общей направленности и специализированные занятия. Если в случае проведения занятия общей направленности основным требованием, предъявляемым к аудиторному фонду, является вместимость аудитории, то ограничения, накладываемые специализированными занятиями, достаточно разнообразны и могут варьироваться от простого требования оснащенности аудитории определенными техническими средствами до выделения конкретных характеристик технического оснащения.

В связи с широким распространением информационных технологий и все большим расширением сфер применения компьютерной техники одним из наиболее распространенных типов специализированного аудиторного фонда становятся компьютерные классы. Если рассматривать отдельно требования, предъявляемые к компьютерным классам со стороны различных занятий, то можно выделить две группы требований: технические и требования к установленному программному обеспечению. Таким образом, для данного подкласса аудиторий можно определить несколько классификаций. На первом этапе можно все занятия, проводимые в дисплейных аудиториях разделить на профильные и непрофильные занятия. В данном случае, если речь идет о занятиях для не технических специальностей, то требования к техническому и программному обеспечению могут быть минимальными. В случае профильных занятий можно говорить о более конкретных требованиях и, в качестве решения проблемы можно рассматривать максимальное оснащение всех имеющихся аудиторий. Но данное решение не является рациональным, т. к. во-первых, требует существенных материальных затрат, во-вторых, фактически одна единица техники не может обеспечить решение всех задач, выполняемых студентами профильных специальностей в виду их многочисленности и разнообразия. Таким образом, актуальной становится задача ведения двунаправленного учета оснащенности специализированного аудиторного фонда и требований конкретных дисциплин к этой оснащенности.

Очевидно, что задача составления расписания является многокритериальной задачей с множеством ограничений различной формы. Еще не разработан алгоритм стопроцентной оптимизации расписания с учетом всех параметров. Поэтому составление расписания – это всегда поиск компромисса, подбор именно того решения, которое не является наилучшим, но в достаточной мере устроит всех участников данного процесса.

УДК 658.512.2.011(06)

В. М. Глушань, Р. В. Иванько, П. В. Лаврик, Н. Н. Орлов

ОБОБЩЕНИЕ НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ САПР

Таганрогский технологический институт Южного федерального университета (gluval07@rambler.ru)

В данной статье приводятся обобщения некоторых результатов по проблеме построения распределенных САПР электронных схем

Ключевые слова: когнитивная модель, CALS- технологии, распределенные САПР

V. M. Glushan, R. V. Ivanko, P. V. Lavrik, N. N. Eagles

GENERALISATION OF SOME RESULTS OF RESEARCH COGNITIVE MODELS DISTRIBUTED CAD SYSTEM

In given article generalisations of some results on a problem of construction distributed CAD of electronic schemes are resulted.
Cognitive model, the CALS technologies, distributed CAD system.

Сетевые информационные технологии (СИТ) все глубже проникают в самые различные сферы деятельности человека. Подтверждением этому является развитие систем CALS-технологии (Continuous Acquisition and cycle Support – непрерывное обеспечение и поддержка жизненного цикла изделий), предполагающей комплексную компьютеризацию сфер промышленного производства. Концептуальной основой CALS-технологий является интеграция всех систем автоматизированной поддержки всех этапов жизненного цикла изделий промышленного производства.

Важнейшими из этих этапов являются: CAE – автоматизированные расчеты и анализ; CAD – автоматизированное проектирование; CAM – автоматизированное изготовление изделий и подготовка производства; PDM – управление проектными данными. Успешная реализация CALS-технологий позволит выполнять работу над одним проектом различных коллективов (параллельное проектирование).

Среди отмеченных этапов бесспорно наиболее трудоемким, требующим использования достижений искусственного интеллекта, является автоматизированная разработка проектов. Традиционные САПР различного назначения являются сосредоточенными, т. е. проектирование ведется на одном рабочем месте, за одним дисплеем. Поскольку CALS-технологии по определению являются сетевыми информационными, то и CAD-системы, интегрируясь в них, также должны быть сетевым.

В данной статье приводятся обобщения некоторых результатов по проблеме построения распределенных САПР электронных схем, изложенных в работах [1–8]. В работах [1, 2] высказываются концептуальные соображения о возможности и необходимости построения распределенных САПР. В работах [3–5] приводятся оценки времени решения задач конструкторского проектирования на традиционных (сосредоточенных) САПР и на распределенных САПР. Однако, как показали дальнейшие исследования, эти оценки оказались слишком оптимистическими. Иначе говоря, исходя из этих оценок, число компьютеров в сети, привлекаемых для решения задач проектирования, можно увеличивать неограниченно и эффективность системы от этого будет только расти.

В последующих работах [6–8] были предложены более реалистичные оценки, показывающие, что существует оптимальное число компьютеров сети, которые целесообразно использовать для решения задач проектирования.

В проведенных исследованиях рассматривались различные модели в качестве претендентов на роль когнитивной модели конструкторского проектирования электронных схем. Выбор был остановлен на модели, описанной в [4]. Согласно этой модели, процесс проектирования распадается на пять этапов. На первом этапе общая задача подвергается декомпозиции и решается сервером сети. На втором этапе сервер рассылает компьютерам-клиентам сформированные в результате декомпозиции задания для решения задач размещения и трассировки. Третий этап состоит в решении каждым компьютером-клиентом своих задач размещения и трассировки. На четвертом этапе выполняет-

ся обратная передача результата работы с каждого компьютера-клиента на сервер. И, наконец, на пятом этапе выполняется объединение сервером всех частей схемы и дотрассировка "разрывных" трасс.

В соответствии с принятой когнитивной моделью оценку $O_n(f(N,n))$ временной сложности процесса проектирования (ВСПП) с помощью распределенной САПР можно представить выражением

$$O_n(f(N,n)) = O_{дек}(f(N,n)) + O_{п.п}(f(N,n)) + \sum_{i \in I} O_i(f(N,n)) + O_{об.п}(f(N,n)) + O_{сер}(f(N,n)), \quad (1)$$

где:

N – количество элементов, например микросхем, в исходной схеме, n – количество компьютеров в сети, I – количество алгоритмов, используемых в проектировании;

$O_{дек}(f(N,n))$ – временная сложность декомпозиции задачи проектирования, т. е. распределения задания по компьютерам сети;

$O_{п.п}(f(N,n))$ – временная сложность прямой пересылки информации после декомпозиции задачи с сервера на все компьютеры сети;

$\sum_{i \in I} O_i(f(N,n))$ – временная сложность всех I алгоритмов, используемых каждым компьютером сети при решении задачи проектирования (например, алгоритмы размещения и трассировки);

$O_{об.п}(f(N,n))$ – временная сложность обратной передачи информации со всех компьютеров на сервер;

$O_{сер}(f(N,n))$ – временная сложность объединения сервером всех решений с каждого компьютера в единое целое.

В выражении (1) третью составляющую, т. е. временную сложность всех I алгоритмов, можно заменить некоторой обобщенной функцией временной сложности обработки информации $O_{обр}(f(N,n))$. Тогда выражение (1) примет вид:

$$O_n(f(N,n)) = O_{дек}(f(N,n)) + O_{п.п}(f(N,n)) + O_{обр}(f(N,n)) + O_{об.п}(f(N,n)) + O_{сер}(f(N,n)). \quad (2)$$

Очевидно, что в оценке ВСПП сосредоточенной (одно компьютерной) САПР однозначно должна присутствовать третья составляющая из выражения (2) и отсутствовать вторая и четвертая составляющие. Делать однозначно какие-либо утверждения о первой и пятой составляющих нельзя, поскольку в одних случаях они могут присутствовать, а в других – нет. Это определяется как конструктивными особенностями разрабатываемой схемы, так и числом N ее элементов.

Так, например, существуют конструкции больших интегральных схем (БИС) так называемой линейчатой структуры. Каждая линейка полупроводникового кристалла такой БИС представляет собой часть схемы, которая наполняется схемными элементами точно так же, как это делается при распределении (декомпозиции) между компьютерами сети.

Аналогичным образом схема разбивается на части (говорят, что решается задача компоновки схемы), когда число элементов N достаточно велико – сотни тысяч и больше.

Во всех этих случаях в выражении для оценки ВСПП будет присутствовать члены $O_{дек}(f(N,n))$, а, следовательно, должна присутствовать и составляющая, с помощью которой будет оцениваться временная сложность процесса объединения всех частей схемы в единое целое. Очевидно, что эта составляющая будет иметь тот же смысл, что и пятая составляющая в выражении (2), только обозначим мы ее теперь как $O_{об} f(N,n)$ – оценка объединения.

Исходя из приведенных соображений, оценку ВСПП для сосредоточенной САПР можно представить в виде

$$O_1(f(N,n)) = O_{дек}(f(N,n)) + O_{обр}(f(N,n)) + O_{об}(f(N,n)). \quad (3)$$

В [6] был проведен детальный анализ структурной формулы (2) и особенно ее представление в следующем параметрическом виде

$$O_n(f(N,n)) = N(N+1) + \frac{N^2}{n} + (\frac{N}{n})^k + n^k. \quad (4)$$

Здесь k – это показатель сложности алгоритмов размещения и трассировки и принимающий значения $1 \le k \le 6$. По выражению (4) с использованием среды Math Lab были построены семейства графиков при различных значениях параметров N, n, и $k = \{2, 3, 4\}$, которые приведены соответственно на рис. 1, 2 и 3. На рис. 4 все три семейства для наглядности представлены в одной координатной плоскости.

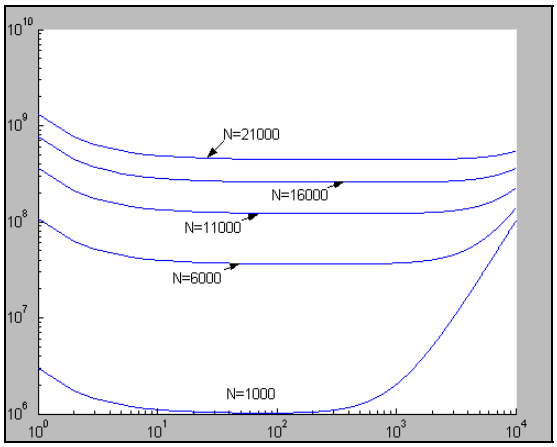


Рис. 1.

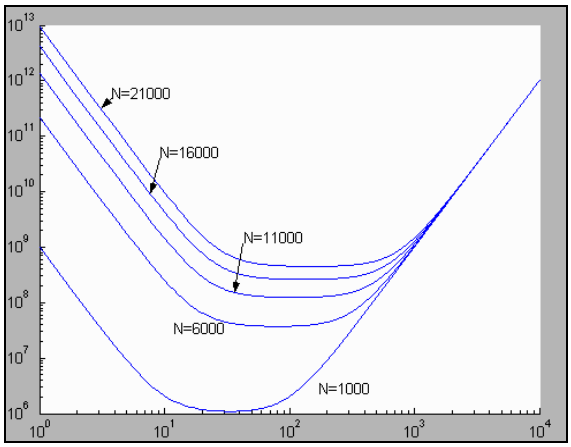


Рис. 2.

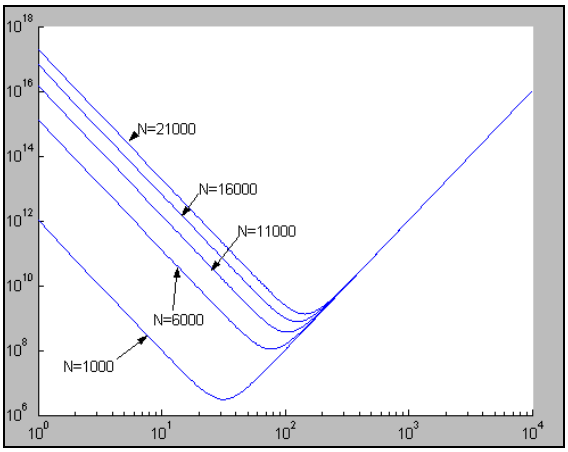


Рис. 3.

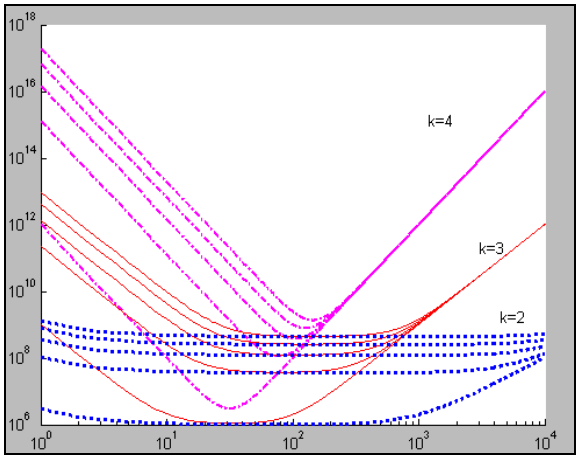


Рис. 4.

Анализ приведенных графиков позволяет сделать следующие выводы:

- Абсолютная величина ВСПП с увеличением временной сложности алгоритмов (ВСА), используемых при проектировании (определяется параметром k), увеличивается;
- Увеличение размерности задачи (величины N) ведет к увеличению ВСПП, причем большим значениям k соответствуют и большие значения ВСПП при одних и тех же n;
- Минимальное значение ВСПП сдвигается в сторону больших значений n при увеличении k практически при всех значениях N;
- При больших значениях N значения ВСПП практически линейно убывают вплоть до оптимального значения n, после чего квазилинейно возрастают;
- Во многих случаях наблюдается "зона безразличия", в которой при увеличении n ВСПП остается практически постоянной.

Значение того факта, что существует оптимальное соотношение между сложностью схемы (числом элементов N) и числом компьютеров сети n, является очень важным и определяющим фактором для построения распределенной САПР. Но, очевидно, не менее важным представляется значение абсолютного выигрыша во времени, выраженного в разах, распределенной САПР по сравнению с сосредоточенной. С этой целью в [7] были проведены соответствующие исследования. Для этого формула (3), также как и формула (2), была представлена в параметрическом виде

$$O_1(f(N,n)) = N + \frac{N^k}{n^{k-1}} + n^k. \qquad (5)$$

Для абсолютной оценки выигрыша по времени исследовалось отношение формул (5) и (4)

$$\gamma(N,n) = \frac{O_1(f(N,n))}{O_n(f(N,n))} = \frac{N + N^k / n^{k-1} + n^k}{N(N+1) + N^2 / n + (N/n)^k + n^k}. \qquad (6)$$

Используя приведенное соотношение (6), были построены зависимости $\gamma(N,n)$ при разных значениях параметров N, n и k.

Из приведенного рисунка видно, что при $k = 2$, как бы мы не увеличивали n, выигрыша в скорости

решения задач мы не получаем. Однако, как показал дальнейший анализ соотношения (6), увеличение значения k, т. е. сложности алгоритмов размещения и трассировки и, как следствие, качества решения задачи, приводит к появлению выигрыша, проявляющегося в виде "пиков" на графике зависимостей $\gamma(N,n)$. Обобщенные семейства графиков выигрыша приведены на рис. 5 и 6.

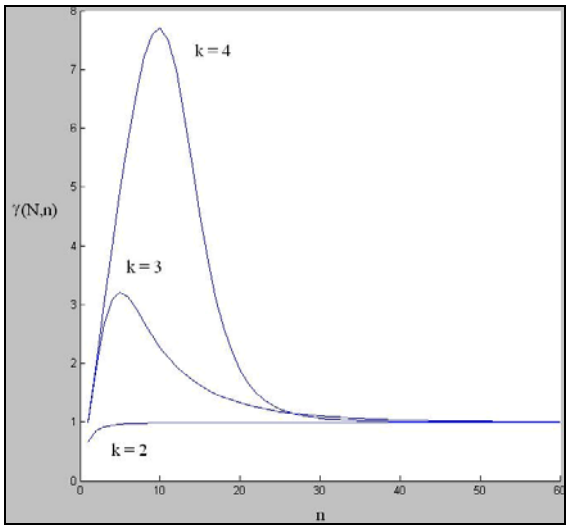


Рис. 5

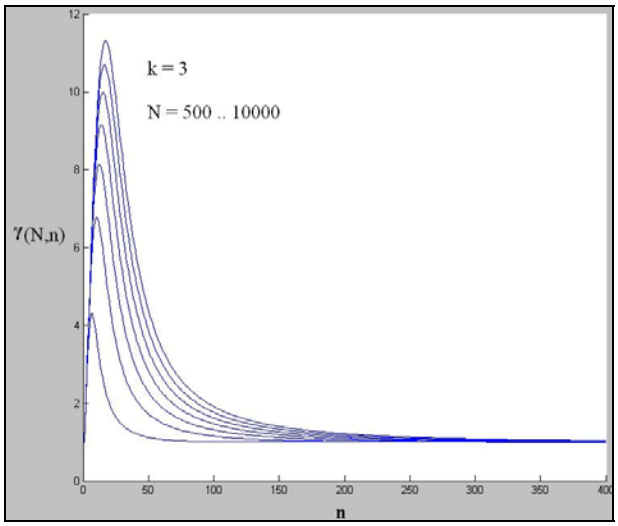


Рис. 6

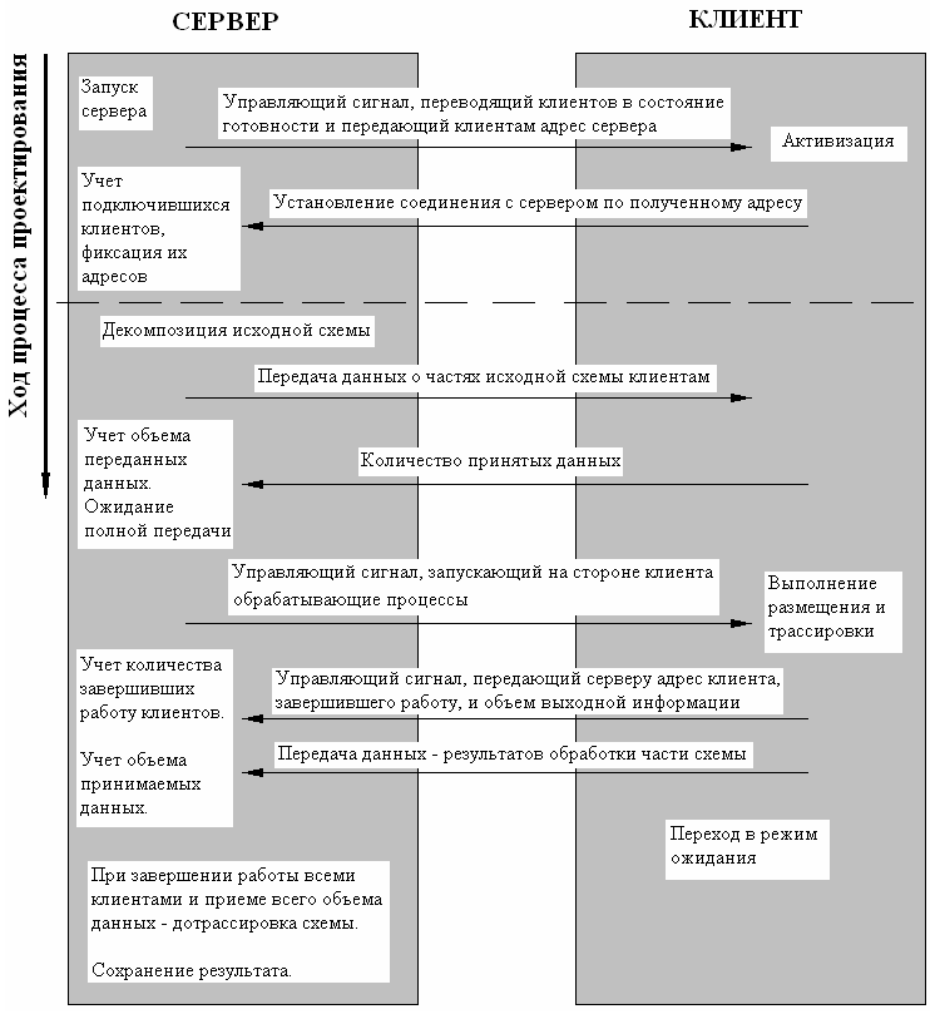


Рис. 7. Схема взаимодействия сервера и клиента

На рис. 5 число элементов $N = 200$ для всех трех значений k. На рис. 6 число элементов N изменялось от 500 до 10000 с интервалом в 1500 элементов при одном и том же значении $k = 3$. Как и следовало ожидать, максимальный выигрыш приходится на оптимальное число компьютеров сети, участвующих в проектировании.

Зависимости, приведенные на рис. 5, 6, дают ясное представление об абсолютной величине выигрыша, о том, что он растет с увеличением k и N и смещается в сторону увеличения n при увеличении N.

Для проведения натурных экспериментов на распределенной САПР необходимо иметь сетевую программную мониторную оболочку. Такая оболочка была разработана, и схема взаимодействия между сервером и каждым клиентским компьютером сети в соответствии с разработанной оболочкой приведена на рис. 7.

Натурные эксперименты на реальной сети позволят сделать однозначный вывод о степени адекватности рассматриваемой модели. Такие эксперименты планируется провести в ближайшее время на локальной сети кафедры САПР ТТИ ЮФУ. Результаты экспериментов будут представлять отдельную работу, и соответствующим образом подготовлены к публикации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Глушань В. М. Будников Е. В.* Распределенная сетевая обработка при решении задач конструкторского проектирования ЭВА. Известия ТРТУ, № 3 Тематический вып., "Интеллектуальные САПР". – Таганрог, – 1997. – С. 42–47.

2. *Адамов А. З., Глушань В. М.* Технология проектирования сетевых САПР. Труды международных конференций "Искусственные интеллектуальные системы" (IEEE AIS'02) и "Интеллектуальные САПР" (CAD – 2002). – М.: Изд-во Физматлит, 2002. – С. 456–461.

3. *Глушань В. М., Далекин А. В., Косов И. Ю.* Конструкторское проектирование на основе сетевых технологий. Труды международных конференций "Интеллектуальные системы" (IEEE'04) и "Интеллектуальные САПР" (CAD – 2004), Т. 2. – М.: Изд-во Физматлит, 2004. – С. 15–19.

4. *Глушань В. М., Далекин А. В., Иванько Р. В., Косов И. Ю.* Автоматизированное конструкторское проектирование радиоэлектронных схем на локальных вычислительных сетях. Известия ТРТУ. Тематический вып. "Интеллектуальные САПР". – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005, № 3(47). – С. 64–69.

5. *Глушань В. М., Иванько Р. В.* К вопросу обоснования использования распределенных САПР // Перспективные информационные системы и информационные интеллектуальные системы (электронный журнал), 2006, № 1 (25).

6. *Глушань В. М., Иванько Р. В.* Анализ эффективности распределенных САПР // Известия ТРТУ. Тематический выпуск "Интеллектуальные САПР". Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006, № 8, С. 115–120.

7. *Глушань В. М., Иванько Р. В., Лаврик П. В., Рыбальченко М. В.* Сравнительный анализ эффективности распределенных САПР. Труды Международных научно-технических конференций "Интеллектуальные системы" (AIS'06) и "Интеллектуальные САПР" (CAD-2006). – М.: Физматлит, 2006, Т. 2.

8. *Глушань В. М., Иванько Р. В., Лаврик П. В.* Программная оболочка клиент-серверной технологии для распределенной САПР // Труды Международных научно-технических конференций "Интеллектуальные системы" (AIS'07) и "Интеллектуальные САПР" (CAD-2007). Научное издание в 3-х томах. – М.: Физматлит, 2007, Т. 1. – С. 138–143.

УДК 004.6:004.6

С. Н. Игумнов

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АИИС КУЭ

Волгоградский государственный технический университет (ITLaboratory@mail.ru)

В данной статье кратко описывается работа системы проектирования новых автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ). Описываются основные предпосылки создания продукта подобного рода и аргументируется необходимость разработки подобной системы.

Ключевые слова: АСКУЭ, электроэнергия, автоматизация, учет, проектирование, обследование, коммерческий.

S. N. Igumnov

AUTOMATED INFORMATION-MEASURING SYSTEMS OF COMMERCIAL ACCOUNT OF POWER CAD SYSTEM

This paper briefly describes functions of Power Megerment CAD system. Main prerequisites for the system creation are shown and the necessity in it is explained. The Specialist in electric power will have opportunity to design new automated information-measuring systems of commercial account of power systems and create the specification of the equipment with the minimal expenses in short terms.

Automated, electric power, commercial, CAD system, information-measuring, specification.

В наше время, на предприятиях разных областей внедряется множество автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого и технического учета электроэнергии (АИИС КУЭ). Сейчас невозможно существование некоторых предприятий без выхода на оптовые рынки электроэнергии или без технического учета внутри своего предприятия.

Целью данной работы является создание системы, которая автоматизирует процесс проектирования новых систем АИИС КУЭ.

При создании новой АИИС КУЭ, автоматизированная система проектирования поможет решить задачу выбора всего необходимого оборудования под конкретного потребителя (оценит потребности заказчика и по входным характеристикам сделает выбор: трансформаторов, программного обеспечения, производителей оборудования, счетчиков электрической энергии, видов связи и т. д.) и на основе полученной информации создаст структурную схему новой АИИС КУЭ.

При проектировании новой АИИС КУЭ приходится осуществлять огромные комплексы работ по обследованию предприятий, по оценке требований к оборудованию в таких системах (по требованиям предприятия, группа специалистов делает обследования в составе: электрики, испытательная лаборатория, метрологи, технологи, строители и др.), что занимает много времени, сил, специфического оборудования, интеллектуальных затрат. Возникает необходимость в экономии этих затрат.

Успешно решить данную задачу можно автоматизацией стадий на этапе проектирования АИИС КУЭ.

Для решения проблемы предлагается использовать специализированную систему проектирования, которая в автоматическом режиме сделает анализ данных и предоставит структуру системы коммерческого или технического учета электроэнергии для конкретного предприятия, в которой представит спецификацию оборудования и программного обеспечения. На данный момент прототипов такого рода системы не было обнаружено.

Сокращение специалистов задействованных в обследовании предприятия, экономия ресурсов на создание новой системы АИИС КУЭ, а также сокращение сроков проектирования и выбора оборудования – все это говорит о том, что данное направление актуально, а созданная система будет востребована.

Даже не подготовленные пользователи или специалисты, не обладающие навыками в проектировании, смогут создать примерный состав системы и получить состав оборудования для построения системы АИИС КУЭ.

Специалисты в области электроэнергии получат возможность легко проектировать новые системы АИИС КУЭ и создавать спецификацию оборудования с минимальными затратами в короткие сроки.

Специалисты в области электроэнергии получат возможность легко проектировать новые системы АИИС КУЭ и создавать спецификацию оборудования с минимальными затратами в короткие сроки.

Система будет состоять из множества подсистем, модулей и баз данных (далее БД): подсистема работы с БД, (БД счетчиков, БД трансформаторов, БД программного обеспечения, справочники и др., по которым будет производиться выборка, оценка оборудования и выборка ПО), подсистема создания новой АИИС КУЭ, модуля подбора оборудования, модуля генерации спецификации и других (архитектура системы представлена на рис. 1).

В системе будет представлена подробная информация с техническими характеристиками оборудования, с полнотекстовым поиском по всем описаниям, что позволит ускорить процесс поиска необходимого оборудования (поиск по определенной БД).

Будет осуществляться выбор:

- трансформаторов тока;
- выбор производителя ПО (по требованиям);
- выбор счетчиков для конкретной системы;
- систем и линий связи;

и т. д.

После проведения вычислений и выбора оборудования система будет генерировать структурную схему новой АИИС КУЭ, на которой будут отображены и расставлены все элементы созданной системы, включая различные типы линий связи.

Все базы данных будут иметь возможность расширения, что позволит пополнить их при появлении новых типов оборудования и расширить возможность выбора.

Одной из идей, является дальнейшая интеграция системы во всемирную сеть Интернет, что сделает возможным пополнение количества оборудования, а, следовательно, саморазвитие системы. Это позволит специалистам поучаствовать в пополнении фонда оборудования.

Завершенная система может быть выдвинута на рынок и продаваться, прибыль будет, как от продажи локальных версий продукта (непосредственно CD диска с системой и базой данных, описанием, методиками, и т. д.), так и от оплаты за использование информации из баз данных в Интернет.

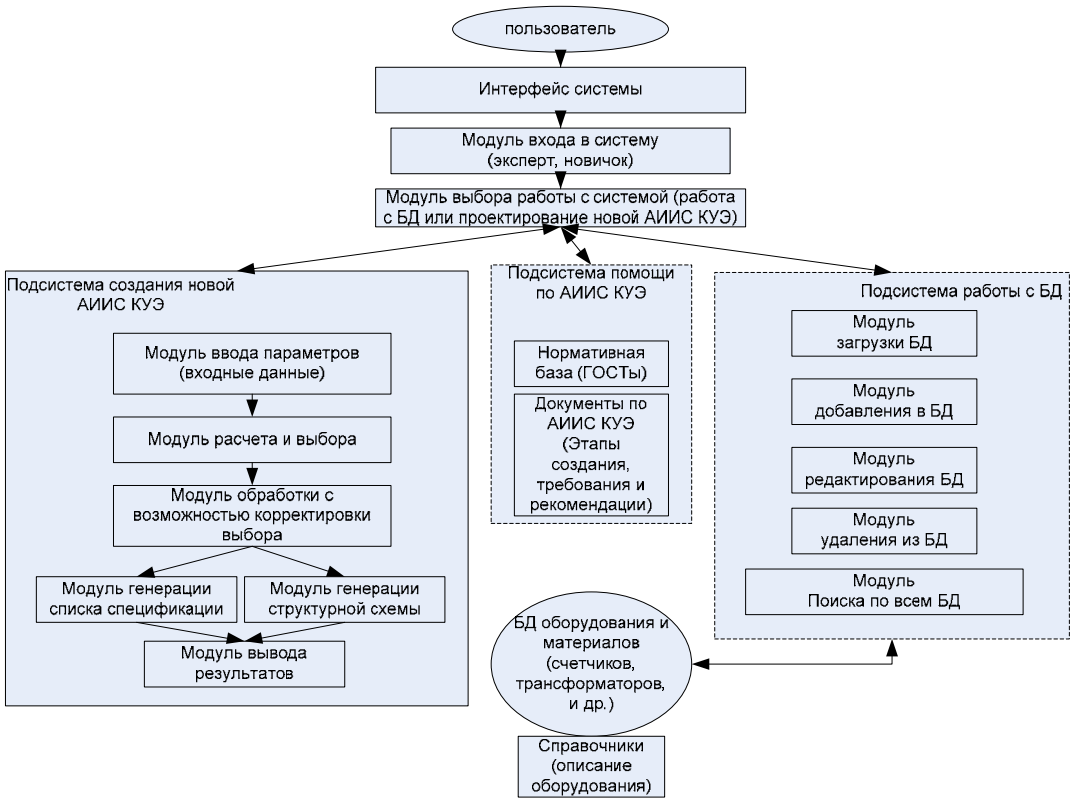


Рис.1. Архитектура системы

В дальнейшем, работая над системой, получим следующие результаты:

- в течение 1–2 года расширение баз данных;
- создание и усовершенствование методик работы с системой, методик создания структур;
- внедрение системы в сеть Интернет и создание различных версий продукта (локальная, Интернет, lite и др.);
- модернизация модулей системы, повышение функциональности.

УДК 519.816

С. П. Олейников, Д. П. Олейников, Л. Н. Бутенко

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЗАДАЧ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В УСЛОВИИ НЕОДНОРОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Волгоградский государственный технический университет
(soleynikov@list.ru, Rio-grande@mail.ru, butenko@vstu.ru)

В данной статье описан способ декомпозиции задач в условии, когда для решения задачи имеется неоднородная информация.

Ключевые слова: принятие решений, неоднородность информации, метод, теория принятии решений.

S. P. Oleynikov, D. P. Oleynikov, L. N. Butenko

GOALS DECOMPOSITION IN THE CONDITION OF INFORMATION HETEROGENEITY

This paper contains describing of approach to decompose goals in the condition of information heterogeneity.

Decision-making, information heterogeneity, decision-making theory.

Реальные задачи принятия решения в большинстве случаев содержат неоднородную информацию и часто не представляется возможным использовать наиболее полно все доступные сведения, т. к. одни оценки по критериям имеют качественный характер, а другие – количественный. В настоящее время часто невозможно решить сложную задачу, не разбив ее на подзадачи. Поэтому для решения такой задачи необходимо применять методы, которые позволяют представить задачу в виде иерархии задач.

Метод анализа иерархии является одним из немногих методов, позволяющих рассматривать задачу как определенную совокупность

подзадач. Однако он использует количественные преобразования, а значит решать задачи, относящиеся к неструктурированным проблемным областям, с помощью него не представляется оправданным, что и было подтверждено экспериментальными данными когнитивной психологии [2]. Метод ЗАПРОС [1], наоборот, для решения задачи использует качественные оценки, но не может представить задачи в виде иерархии и работает со всем множеством критериальных оценок.

Время предъявления альтернативы также играет особую роль. Например, если решающее правило строится на основе предъявленных альтернатив, то при предъявлении каждой следующей альтернативы решающее правило надо строить заново. Подобного ограничения не содержат методы, в которых альтернативы предъявляются после построения решающего правила.

Поэтому для наиболее полного учета информации, имеющейся для решения задачи необходимо чтобы метод принятия решений:

- имел возможность иерархического представления задач;
- мог использовать как качественные, так и количественные оценки по критериям;
- умел строить решающее правило независимо от времени предъявления альтернатив.

Нами не было обнаружено методов, которые полностью соответствуют данным требованиям. Учитывая потребность в использовании как можно большего объема исходной информации при принятии решения, разработка методов, которые соответствуют вышеуказанным требованиям, является актуальной задачей.

Разбиение задачи на подзадачи. Как известно, метод ЗАПРОС для упорядочивания альтернатив использует решающее правило [1], построенное на основе ответов эксперта. В данном методе используется специальные процедуры, позволяющие ранжировать и учитывать все критериальные оценки так, что для любой предложенной альтернативы с любым набором критериальных оценок можно установить ее ранг.

Однако если выбранные критерии, по которым происходит оценивание альтернатив, различны по смыслу, то лучше их разделить на группы и решать задачу раздельно, так как все равно придется охватывать все множество пар критериев и на основании этого множества строить вопросы для опроса эксперта, что повлечет увеличение времени опроса.

Таким образом, если разделить критерии на группы и построить решающие правила для каждой группы критериев, потребуется создание правила, которое эти группы свяжет и позволит ранжировать альтернативы, оцененные критериальными оценками по критериям в каждой группе (рис. 1).

Введем следующие определения:

- Главная задача – первостепенная задача, которую необходимо решить.
- Подзадача – задача, полученная в результате разбиения главной задачи с учетом принадлежности критериев данной задачи к конкретной предметной области, не связанной с другими подзадачами. Главная задача состоит из подзадач.
- Проекция альтернативы задачи на подзадачу – это альтернатива, представляющая интересы реальной альтернативы задачи в предметной области подзадачи.

Каждая группа критериев, объединенных предметной областью, является отдельной задачей, и ее можно решить методом, позволяющим упорядочить имеющиеся альтернативы по предпочтению.

Это означает, что можно получить полный или частичный порядок для предложенных альтернатив и присвоить данным альтернативам ранги, где ранг, равный 1 – это лучшая альтернатива, 2 – альтернатива хуже альтернативы с рангом 1, но лучше альтернативы с рангом 3 и т. д.

Аналогичным образом решаются задачи во всех других группах критериев, и на выходе каждой альтернативе тоже присваивается ранг. В итоге, альтернатива, составленная из рангов своих проекций на каждую группу критериев, будет иметь набор соответствующих рангов (векторную оценку). Теперь остается применить правило, которое позволит упорядочить альтернативы (набор ее рангов). Метод ЗАПРОС поддерживает упорядочение всех предложенных альтернатив [2].

В результате применения правила метода ЗАПРОС произойдет упорядочивание всех предложенных альтернатив и присвоение им рангов.

Поскольку строится упорядоченное множество имеющихся вариантов решения главной задачи, то мы можем определить номер по порядку (ранг) для каждого варианта решения. Значит, в соответствии с правилом ранжирования вариантов решения главной задачи, главная задача сама может являться подзадачей. Следовательно, получаем иерархическую структуру, которая представляет собой рекурсивную композицию из задач. Задачи, которые можно представить в виде совокупности подзадач, будут являться составными объектами (композициями), остальные же задачи будут являться листьями (рис. 2).

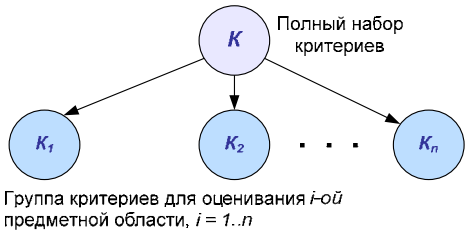


Рис 1. Разбиение критериев для решения задач на группы критериев

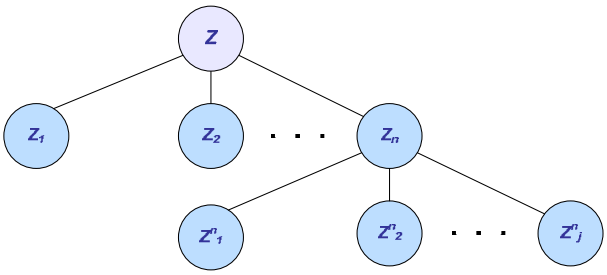


Рис. 2 Иерархия задач при декомпозиции, где Z^j_i – *i-я* подзадача *j-й* задачи

Если для установки порядка на множестве альтернатив, и, в соответствии с правилом ранжирования альтернатив, требуется только ранг проекции этой альтернативы на каждую подзадачу, то в качестве метода решения каждой подзадачи можно использовать метод принятия решений, позволяющий установить порядок всех предложенных альтернатив. Таким образом, можно решать задачи, декомпозированные на подзадачи, для решения которых могут использоваться методы, относящихся как к хорошо структурированным, плохо структурированным и неструктурированным проблемным областям, т. е. максимально задействовать доступную информацию в процессе принятия решения.

При расчете рангов для каждой задачи применяется единообразный подход [5], т. е. для решения задачи верхнего уровня иерархии необходимо знать только ранги альтернатив задач нижнего уровня иерархии, для чего используется полиморфная операция для расчета рангов задач нижнего уровня иерархии. Реализация расчета рангов альтернатив нижнего уровня иерархии инкапсулирована в алгоритмы методов принятия решений, которые назначены для упорядочения альтернатив одного уровня иерархии. Таким образом при реализации подобного подхода резко уменьшается "связанность" [4] элементов метода и упрощается процедура принятия решений в условиях неоднородной информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ларичев, О. И.* Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах: учебник. – М.: Логос, 2000. – 296 с.

2. *Ларичев, О. И.* Качественные методы принятия решений: вербальный анализ решений / О. И. Ларичев, Е. М. Мошкович. – М.: Наука-Физматлит, 2004. – 209 с.

3. *Гамма Э.* Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж Влиссидес. – СПб: Питер, 2001. – 368 с

4. *Бек К.* Экстремальное программирование. Библиотека программиста. – СПб.: Питер, 2000. – 215 с.

5. *Олейников, С. П.* Применение процедур вербального анализа решений для ранжирования вариантов в условии неполноты информации / С. П. Олейников, Д. П. Олейников, Л. Н. Бутенко // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах": межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – 2007. – Вып. 2, № 2, – С. 51–54.

УДК 004.92

А. В. Петрухин, А. В. Золотарев

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ 3D МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ТОПОГРАФО-АНАТОМИЧЕСКИХ СРЕД

Волгоградский государственный технический университет (alw@t-k.ru, olorint@gmail.com)

Разработка алгоритмов обработки топографо-анатомических сред для построения трехмерных моделей позволяет обеспечить высокую степень индивидуализации исследования, и использовать весь спектр возможностей обработки трехмерных анатомических моделей.

Ключевые слова: 3D моделирование, топографо-анатомические среды, поверхностные модели.

A. V. Petrukhin, A. V. Zolotarev

ALGORITHM OF PROCESSING 3D MODELS FOR DISPLAY OF TOPOGRAFO-ANATOMIC ENVIRONMENTS

Development of algorithms of topografo-anatomic environments processing for construction of three-dimensional models allows to provide high degree of an individualization of research, and to use all spectrum of possibilities of three-dimensional anatomic models processing.

3d modeling, topografo-anatomic environments, surface models.

В настоящее время в медицине достаточно широко используются 3D-анатомические модели человеческого тела. Как правило, в основе работы современного программного обеспечения лежит построение и использование усредненных трехмерных моделей. Такой тип моде-

ли основан на вычислении средних значений основных параметров модели, соответствующих большинству пациентов. Однако использование таких моделей не позволяет обеспечить высокую степень индивидуализации исследования, и, следовательно, не позволяют использовать весь спектр возможностей обработки трехмерных изображений, что способствовало бы выбору оптимальных методов лечения.

Вместе с тем современное программное обеспечение для медицинских нужд дает возможность построения пространственных моделей органов и частей человеческого тела, основанных на их усредненных параметрах. Однако эти модели не могут полностью обеспечить индивидуализации исследования и весь необходимый спектр возможностей работы с видеоизображениями, что способствовало бы выбору оптимальных методов лечения.

В основе индивидуальной трехмерной модели тканей человека лежит использование виртуальных топографо-анатомических сред. Под виртуальной топографо-анатомической средой будем понимать компьютерное представление совокупности областей человеческого тела, значимых в контексте проводимого исследования. Такое представление преимущественно имеет трехмерную (3D) пространственную структуру и может дополнительно содержать описания необходимых объектов искусственного происхождения, также задаваемых в виде 3D структур [1].

В процессе обработки 3D моделей для отображения топографо-анатомических сред можно выделить следующие стадии: выделение топографо-анатомических сред и визуализация выбранных сред.

Для хранения информации о состоянии тканей участка тела пациента используется матричная модель данных [2]:

$$A[i,j,\mathrm{k}]=\vec{r}, \quad \vec{r} = [\,O\;,\;F\,] \qquad (1)$$
$$0 \le i \le L,\ 0 \le j \le W,\ 0 \le k \le H$$
$$i \in Z, j \in Z, k \in Z,$$

где L и W – длина и ширина томограммы соответственно, а H – количество слоев томограммы.

$\vec{r}$ – это характеристический вектор элементарной ячейки томограммы. Данный вектор содержит характеристические значения, определяющие состояние тканей пациента.

Для выделения топографо-анатомических сред, необходимо проанализировать параметры ячеек матрицы, относящихся к выбранной области. Если данные ячейки обладают сходными параметрами, значит, они могут быть выделены в качестве виртуальной топографо-анатомической области.

Для анализа выбранной области могут использоваться ряд методов, таких как, определение значения оптической плотности в точке и выделение области точек со сходными значениями оптической плотности, построение гистограммы для выбранной области. Рассмотрим каждый из них в отдельности.

Для определения значения в точке используются координаты ячейки. В связи с тем, что координаты ячеек представляют собой дискретные значения, исходные значения координат ячейки необходимо округлить до ближайшего целого. Таким образом, процесс вычисления значения оптической плотности в некоторой точке тела пациента можно представить следующим образом:

$$x' = O(x);\ y' = O(y); \quad r = A[x',y'], \qquad (2)$$

где функция O – функция округления

Для определения области точек выбирается некоторая контрольная точка A (x_0, y_0), а так же допустимое отклонение оптической плотности в точке от значения в контрольной точке (ε). Для этого в каждой точке, принадлежащей множеству точек пациента рассчитывается значение оптической плотности. $\forall a_i, a \in A, r_i = A[x_i, y_i]$. Если $\Delta r = r_i - r_0 \le \varepsilon$, то точка A [x_i, y_i] добавляется к множеству точек B, соответствующих заданному критерию. Полученное множество B может быть визуализировано независимо от общего множества.

Для анализа результатов компьютерной томографии так же может использоваться график изменения оптической плотности тканей, расположенных вдоль выбранной прямой.

В связи с тем, что выбранная модель представления данных является дискретной, необходимо решить задачу определения принадлежности ячеек выбранной прямой. После этого можно построить график $O(n)$, где n – последовательный номер ячейки модели принадлежащей заданной прямой, а O – величина оптической плотности ткани в данной ячейке. Пример графика приведен на рис. 1.

В основе метода определения принадлежности ячеек заданной прямой лежит алгоритм Брезенхема. Используя предложенный алгоритм, определим какие точки принадлежат прямой. Последовательный номер обрабатываемой ячейки будет соответствовать координате n [3]. На основе результатов гистограммы пользователь может определить области, которые подлежат дальнейшей визуализации.

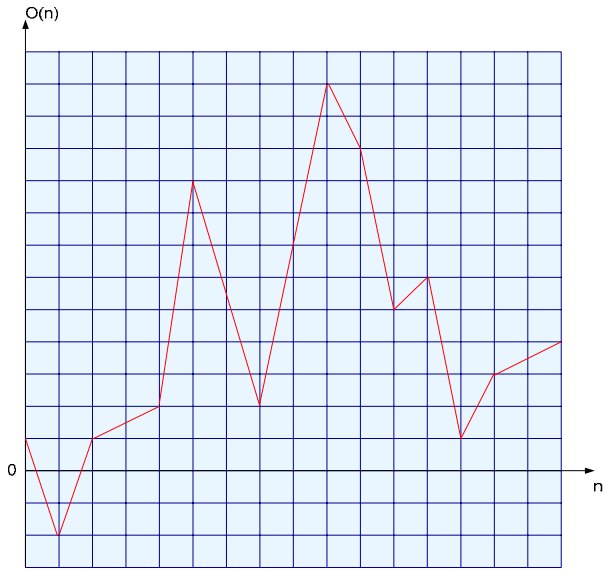


Рис 1. Пример гистограммы

Множество визуализируемых точек удовлетворяет критериям применимости метода Делоне. Данное множество представляет собой замкнутую область и может быть аппроксимировано телом вращения – цилиндром.

Для того чтобы определить цилиндр необходимо вычислить его высоту, радиус основания, а так же координаты центра нижнего основания.

Высота цилиндра равна расстоянию между экстремумами области по вертикали.

Для определения координат центра используем формулу геометрического центра точек.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N}, y = \frac{\sum_{i=1}^{N} y_i}{N}, z = \frac{\sum_{i=1}^{N} z_i}{N}, \quad (3)$$

где N – число точек принадлежащих модели.

Используя координаты x и y центра модели вычислим максимальное расстояние от проекции центра модели на выбранный слой до всех точек модели, принадлежащих данному слою.

Радиус цилиндра будет максимальным значением среди радиусов для каждого слоя.

После того как модель кости была аппроксимирована цилиндром, спроецируем точки тела на боковую поверхность цилиндра, после чего развернем поверхность в плоскость. Определим новые координаты точек, как координаты проекции точки на развернутую поверхность цилиндра.

Начало координаты x' определяется проекций точки $O(0,0)$ на поверхность цилиндра. Рассмотрим вычисления координаты (x',y') на основе координаты проецируемой точки (x_i, y_i) и координаты проекции центра тела (x, y).

Пусть точка тела имеет координату $A(x, y, z)$, центр фигуры имеет координаты $O_ф(x_ф, y_ф)$ необходимо вычислить координаты x', y'(рис. 2).

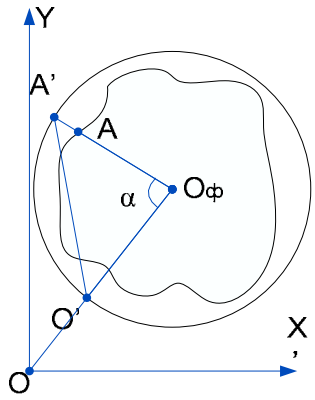


Рис. 2. Пример расчета новых координат точек

Координаты точки проекции A' рассчитываются на основе коэффициента пропорциональности отрезков $A'O_ф$ и $AO_ф$ (рис. 3).

Значение новой координаты x' равно длине дуги $O'A'$.

$$O'A' = r*\alpha \quad (4)$$

Величину угла α можно рассчитать, используя теорему косинусов для треугольника $A'O_ф O'$. При этом необходимо учесть, что угол по теореме косинусов может изменяться в пределах от 0 до π. А реальное значение может изменяться в пределах от 0 до 2π. Если точка A' лежит выше прямой $OO_ф$, то значение угла α надо увеличить на величину π.

Таким образом, новые координаты точки A' на развернутой поверхности цилиндра будут вычисляться по формуле:

$$x' = \left(\frac{x - x_ф}{c} * r + x_ф\right) * \alpha \quad (5)$$

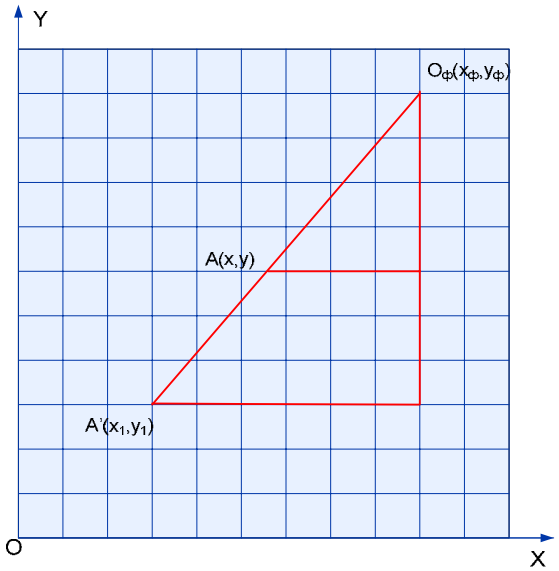


Рис. 3. Расчет координат точек проекции

После этого можно производить триангуляцию набора точек. Для восстановления поверхности тела производиться обратное преобразование множества точек [4, 5].

Проведенный анализ показывает, что методы восстановления трехмерной модели нижних конечностей пациента и ее дальнейшего анализа являются одними из основных методов диагностирования в косметической ортопедии [6]. Переход к трехмерной модели позволяет не только анатомически верное представление результатов томографии, но и существенно расширить список применяемых методов диагностирования.

С использованием данных алгоритмов, на основании таких современных методов диагностики, как рентгеновская компьютерная томография и магнитно-резонансная томография, были построены индивидуальные трехмерные модели голени и коленного сустава [6], включающие в себя мягкотканые образования (кожа, подкожно-жировая клетчатка, мышцы), сосудисто-нервные пучки, кости и мягкотканые объекты суставов (связки и суставные сумки). С помощью полученных изображений возможно достаточно точно выявить и оценить индивидуальные особенности анатомического строения интересующих областей человеческого тела, четко провести предоперационную подготовку пациента, дать рекомендации оперирующему хирургу и избежать возможных ошибок во время операции, связанных, прежде всего, с индивидуальными особенностями анатомического строения пациента.

Таким образом, использование алгоритмов на основе виртуальных топографо-анатомических сред позволяет осуществить трехмерное моделирование интересующих анатомических областей, учитывающее не усредненные параметры анатомических объектов, а индивидуальные особенности их строения с последующим его использованием в диагностических, исследовательских и обучающих целях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Воробьев А. А., Петрухин А. В., Егин М. Е., Пороийский С. В., Баринов А. С., Золотарев А. В.* Новый программный продукт в индивидуальном компьютерном моделировании // Бюллетень Волгоградского научного центра РАМН и Администрации Волгоградской области. – 2006. – № 2. – С. 11.

2. *Золотарев А. В.* Автоматизация процедур диагностики и планирования операций в косметической ортопедии. // Бюллетень Волгоградского научного центра РАМН и Администрации Волгоградской области. – 2007. – № 2.

3. *Золотарев А. В.* Автоматизация процедур диагностики и планирования операций в косметической ортопедии// Магистерская диссертация.- ВолгГТУ. – 2007. – С 40–41.

4. *Петрухин А. В., Золотарев А. В.* Автоматизация построения и анализа 3D моделей в задачах медицинской диагностики // Сборник научных статей "Известия ВолгГТУ" серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". – 2007. – № 9(35). С. 107–110.

5. *Скворцов А. В.* Обзор алгоритмов построения триангуляции Делоне // Вычислительные методы и программирование. 2002. Т. 3.

6. *Воробьев А. А., Петрухин А. В., Егин М. Е., Пороийский С. В., Баринов А. С., Золотарев А. В.* Трехмерная векторная модель коленного сустава при различной патологии // Бюллетень Волгоградского научного центра РАМН и Администрации Волгоградской области. – 2006. – № 2. – С. 8.

УДК 681.3

А. Г. Рыльников, С. А. Фоменков

ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕКСТА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВОГО ПОИСКА В МАССИВЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

Волгоградский государственный технический университет (sk_man@mail.ru, saf@vstu.ru)

В данной статье приводится описание метода семантического поиска документов, основанного на модели объектно-ориентированного представления текста, на примере физических эффектов. Предлагаемый метод позволяет учесть семантику документов и повысить качество результатов поиска.

Ключевые слова: семантический поиск, физический эффект, методы поиска, объектная модель, релевантность поиска.

A. G. Rylnikov, S. A. Fomenkov

TEXT PRESENTATION OBJECT MODEL FOR NATURAL LANGUAGE SEARCH IN PHYSICAL EFFECTS DATABASE

The paper describes the semantic search method based on the object model of text presentation. The method is explained by the example of physical effects database. The designed method analyzes the semantic content of documents and increases the quality of the result set.

Semantic search, physical effect, search methods, object model, relevance of search.

Деятельность отдельных людей, коллективов и организаций сейчас все в большей степени зависит от имеющейся у них информации и способности ее эффективно использовать. Имея доступ к огромному количеству информации, пользователю хотелось бы получать

только нужные ему документы, в то время как поисковые системы работают более чем неудовлетворительно. По мере развития глобальной сети обостряется парадокс: вероятность существования нужной информации возрастает, а возможность ее нахождения уменьшается [1].

Проблема усугубляется еще и тем, что различные группы людей, занимающиеся сбором и поиском информации, используют для общения с поисковыми системами, как свои специальные термины, так и термины, широко используемые другими сообществами в ином контексте. Вследствие этого может возникнуть проблема несовместимости используемых терминов, так как современные машины поиска используют в основном механизмы поиска по ключевым словам, не учитывающие контекст, в котором существует информация. В итоге результатом работы таких машин поиска являются сотни тысяч ссылок, большинство из которых указывают на документы, не относящиеся к запросу [1, 2, 3].

Проблема поиска информации формулируется достаточно просто: поисковая система должна вернуть пользователю набор результатов, содержащих информацию по теме, интересующей пользователя. Релевантностью поиска считается степень соответствия результатов поиска интересующей теме. Дальнейшее содержательное развитие информационно-поисковых систем (ИПС) идет в сторону упрощения работы с ними и их интеллектуализации. Идеальный язык запросов ИПС – естественный [2, 3]. Для этого широко используют словари, ряды синонимов, тезаурусы слов.

На кафедре САПР и ПК создана ИПС ФЭ [4], в которой представлена структурированная физическая информация в форме физических эффектов (ФЭ). Описание ФЭ состоит из входной карты физического эффекта, выходной карты и основного текста описания. Входная карта предназначена для ввода информации о ФЭ в базе данных, организации поиска ФЭ по широкому набору признаков и машинной обработки информации. Выходная карта ФЭ представляет собой его краткую, легко обозримую характеристику в форме, удобной для комплексного восприятия пользователем. Содержание выходной карты выдается после того, как данный ФЭ найден по тому или иному запросу, поэтому информация в выходной карте ФЭ менее формализована, чем во входной карте. Основной текст описания ФЭ предназначен для его более глубокого изучения. Описание выполняется на естественном профессиональном языке и содержит данные справочного характера [4]. Существующая ИПС ФЭ предназначена для централизованного сбора сведений о ФЭ, организации многоаспектного поиска физических эффектов и выдачи пользователю требуемой фактографической информации. Режим поиска, реализованный в системе, позволяет проводить поиск по компонентам входной карты, т.е по структурированной части описания физического эффекта. Однако существенным факторами, сдерживающими широкое использование данной системы на практике, являются, во-первых, сложность в построении правильного, структурированного запроса к системе, а во-вторых, сложность пополнения базы данных новыми физическими эффектами из-за необходимости структурировать имеющуюся информацию.

Во многом решением указанных выше проблем служит использование естественно языкового анализатора [5]. С его помощью, с одной стороны, можно проанализировать имеющиеся документы для создания входной карты ФЭ, а с другой, его использование позволит вести диалог с пользователем на естественном языке и производить поиск на основе его ответов и запросов, которые он формулирует на естественном языке.

Одной из основных проблем обработки естественного языка является представление семантической составляющей слов. Морфологические и синтаксические анализаторы для значительной части вариантов имеют вполне определенный алгоритм работы. Информация для их работы содержится в правилах естественного языка и различных словарях, имеющих ясную, определенную структуру.

Основным подходом к накоплению семантической информации в настоящий момент является построение семантического дерева [5]. Однако нерешенными остаются следующие задачи:

выделение имен собственных;

понимание общего смысла текста;

автоматическое расширение базы знаний;

сопоставление узлов семантической сети и отдельных объектов;

выполнение необходимых действий на основе семантического значения предложения;

формирование собственных синтаксически и семантически верных конструкций.

Одной из первых проблем в процессе анализа семантики высказывания на естественном

языке является определение объектов, указанных в виде имен собственных. Основные пути решения этой проблемы представлены в исследованиях Microsoft Research [6]. В них предлагается обобщенный способ выделения имен собственных на основе справочников, правил пунктуации и возможностей машинного обучения.

Еще одной проблемой при обработке выражений на естественном языке является определение общего смысла текста. В основном алгоритмы семантического анализа опираются на структуру одного предложения, однако смысл обычно содержится в нескольких предложениях. Например, одно предложение "вводит" объект в текст, дальнейшие предложения описывают его более подробно, характеризуют его действия и т. п. Это важно и при поисковых запросах, так, например, в первом приближении пользователь может описать объект в общих словах. После получения предварительных результатов, пользователь, может использовать местоимения или синонимы естественного языка. И еще одна причина: при подробном описании объекта трудно составить одно, сложное стилистически хорошее предложение. Обычно люди разбивают описание на более простые предложения.

Автоматическое расширение базы знаний предполагает пополнение новыми фактами после анализа некоторого текста. Также сюда следует отнести проведение внутреннего анализа базы знаний на выявление дополнительных связей в понятиях. Реализация этой задачи требует решения нескольких проблем. Во-первых, необходимо определить является ли полученная после анализа конструкция новым фактом. Во-вторых, необходимо проверить, не противоречит ли новый факт уже имеющимся фактам в базе знаний. А также как поступать, если имеется противоречие: необходимо ли добавить новый факт, оставить существующий или сохранить оба факта.

При поиске, как и при любом высказывании в повелительном наклонении, пользователь предполагает, что компьютером будет произведено некоторое действие. Интерпретация необходимых действий является одной из проблем при использовании в качестве языка запросов естественного языка.

Также одной из важных проблем является формирование собственных семантически и синтаксически правильных конструкций. В поисковых системах эти действия необходимы при уточнении запросов пользователя, задавая дополнительные уточняющие вопросы. Также возможно составление на основе данных в базе знаний краткого описания найденной информации, чтобы помочь пользователю определится: достаточно ли ему полученной выборки или нет.

В данной работе предлагается объектная модель для представления и хранения семантической информации, находящейся в текстах на естественном языке в компьютере. В области разработки программного обеспечения объектно-ориентированный подход основан на систематическом использовании моделей для языково-независимой разработки программной системы на основе ее цели. В формулировке цели участвуют предметы и понятия реального мира, имеющие отношение к разрабатываемой программной системе. При объектно-ориентированном подходе эти предметы и понятия заменяются их моделями, т. е. определенными формальными конструкциями, представляющими их в программной системе.

Модель содержит не все признаки и свойства представляемого ею предмета (понятия), а только те, которые существенны для разрабатываемой системы. Это упрощает как разработку и изучение (анализ) моделей, так и их реализацию на компьютере. В частности, формальный характер моделей позволяет получить модель разрабатываемой программной системы как композицию формальных моделей ее компонентов [7].

Таким образом, объектно-ориентированный подход помогает справиться с такими сложными проблемами как [7]:

- уменьшение сложности;
- повышение надежности;
- обеспечение возможности модификации отдельных компонентов;
- обеспечение возможности повторного использования компонентов.

Систематическое применение объектно-ориентированного подхода позволяет разрабатывать хорошо структурированные, надежные в эксплуатации, достаточно просто модифицируемые системы. Этим объясняется выбор данной методологии к поставленной задаче. На основе принципов этого подхода предлагается модель представления данных для анализа естественно-языковых запросов. С помощью этой модели возможно, обработав текст на естественном языке, получить его отображение (семантическое), которое отражает

смысл текста и при этом позволяет хранить его в компьютерных базах данных. Это в свою очередь дает возможность осуществлять поиск по смыслу текста дополнительно к поиску по ключевым словам.

Также модель позволяет получать текст на естественном языке на основе его семантического отображения. Данной моделью не гарантируется, что полученный текст будет соответствовать исходному тексту, с которого было получено семантическое отображение.

В основе модели лежит гипотеза о том, что представление мира является объектным: т. е. мир представлен множеством объектов, которые имеют ряд свойств, производят действия над другими объектами и объединяются в классы. Следовательно, текст на естественном языке описывает часть мира с помощью описания объектов, входящих в эту часть, значений их свойств и действий одних объектов над другими. Таким образом, текст описывает некоторое пространство. По мере продвижения по тексту это пространство заполняется все новыми объектами и их свойствами. Основой модели является понятие динамического объекта – объекта с неизвестным (расширяемым) набором свойств и методов. По мере анализа текста объект приобретает значения новых свойств и "узнает" о наличии новых методов. Текст в предлагаемой модели представляется в виде программы на объектно-ориентированном языке, которая "выполняется" в 4-х мерном пространстве: три измерения – это координаты в пространстве и четвертое измерение – время. Координаты объекта задаются или в виде точных показаний или относительно других объектов. В начале системы координат находится объект "я", который всегда в настоящем времени и всегда имеет координаты в пространстве (0,0,0).

Знания в системе хранятся в двух формах: в виде словаря терминов и в виде фактов. Факты имеют следующую конструкцию: свойство объекта <Свойство1> имеет значение <Значение1>. "Иметь значение" может быть либо как строгое равно (значение числа $\pi = 3{,}14$), либо виде нечеткого присвоения (скорость ходьбы человека обычно 5 км/ч). Словарь терминов строится как совокупность объектов, имеющих набор свойств и действий, которые он может совершать. У всех объектов есть метод "Быть" и метод "изменить позицию", а также заданное положение в четырехмерном пространстве.

Данное представление позволяет применить к семантическому анализу текста методы и подходы, используемые в объектно-ориентированном программировании. Например, такой механизм объектного подхода как наследование. С помощью этого механизма можно группировать объекты в классы и выделять более абстрактные классы-родители.

В рамках данной модели можно предложить алгоритм поиска не по ключевым словам, а по основному смыслу отрезков текста. Например, пусть существует множество описаний. В одном из описаний имеется информация "Суть пьезоэлектрического эффекта заключается в…", в другом описании есть фраза " … в отличие от пьезоэлектрического эффекта". В поиске по ключевым словам "Пьезоэлектрический эффект" будут найдены оба документа, в поиске по смыслу алгоритм должен найти только первый документ, так как в нем раскрывается описание пьезоэлектрического эффекта. Во втором документе этот эффект просто упомянут.

Также при поиске система сможет задавать уточняющие вопросы на основе уже отобранной информации. В отобранных документах ищется свойство, значение которого наиболее сильно различает выбранные объекты и задается вопрос о значении этого свойства и т. д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гарант-Парк-Интернет. Технологии анализа и поиска текстовой информации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://research.metric.ru.

2. Философские аспекты структурирования знаний [Электронный ресурс]. [2005]. – Режим доступа: http://nikgavrilov.narod.ru/refer1.htm.

3. *Попов А.* Эффективная методика поиска информации в сети Интернет: Журнал "Internet", № 2 (7), 1998.

4. Представление Физических знаний для автоматизированных систем обработки информации / С. А. Фоменков, В. А. Камаев, Д. А. Давыдов, А. В. Петрухин. – Волгоград: 1997. – 120 с.

5. Е. Игумнов, Основные концепции и подходы при создании контекстно-поисковых систем на основе реляционных баз данных.

6. *Baluja S., Mittal V. O., Sukthankar R.* Applying machine learning for high performance named-entity extraction / Computational Intelligence, Volume X, Number Y, 2000.

7. Основные понятия объектно-ориентированного подхода [Электронный ресурс]. [2001]. – Режим доступа: http://www.mista.ru/oop_book/glava1.htm.

8. http://read.excode.ru/art6225p1.html.

УДК 621.391

А. А. Донченко, А. В. Езимов, М. А. Кисляков, Н. В. Алимахин

РАСШИРЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА Е-СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ

Ростовский военный институт ракетных войск им. М. И. Неделина (kisljakof@mail.ru)

В статье рассматривается возможность применения расширенного математического аппарата Е-сетей для моделирования структурно-функциональной организации систем радиосвязи. Предлагается дополненная процедура функционирования элементарной сети, задающая условие перемещения меток Е-сети в зависимости от результатов их преобразования.

Ключевые слова: моделирование, системы радиосвязи, Е-сети.

A. V. Ezimov, A. A. Donchenco, M.A. Kisljakov, N. V. Alimachin

EXPANSION OF THE NET APPARATUS FOR THE SIMULATION OF THE STRUCTURE-FUNCTIONAL ORGANIZATION OF THE RADIOCOMMUNICATION SYSTEMS

The feasibility of applying the extension of the mathematical apparatus of the E-nets for the simulation of the structural-functional organization of the radiocommunication systems has been considered in the report. The complemented procedure of the elementary net functioning, which specifies the procedure of the marker motion of the E-net according to the results of their transformation, is suggested.

Simulation, radiocommunication systems, E-nets.

Функционирование радиосетей в чрезвычайных условиях характеризуется значительными потерями ресурсов сети, например ухудшением качества радиоканала, выходом из строя некоторой части узлов сети, а также присутствием в радиоканале помех различного рода. Существуют различные способы повышения эффективности функционирования радиосетей в данных условиях. Одним из таких способов является [1] совершенствование структурно-функциональной организации сети.

Оценка качества структурно-функциональной организации радиосети в обязательном порядке проводится на этапе ее проектирования. Проведение такой оценки возможно как аналитическими методами, так и методом имитационного моделирования. Однако наличие множества случайных факторов, влияющих на функционирование сети, ограничивает эффективность применение аналитических методов исследования. Метод имитационного моделирования предоставляет возможность проводить экспериментальные исследования в широком диапазоне изменения параметров системы и внешней среды.

Одним из основных этапов имитационного моделирования является разработка математической модели функционирования исследуемой системы. При разработке математической модели применяются различные математические схемы. Большие преимущества при моделировании процессов функционирования радиосетей в чрезвычайных условиях дает аппарат Е-сетей [2,4]. Во-первых, Е-сеть служит средством задания структуры и параметров имитационной модели, дающим наглядное представление об информационных потоках в системе. Во-вторых, при программной реализации Е-сетевых модулей упрощаются процессы разработки и модификации моделирующих программ. Кроме того, Е-сетевое описание обладает хорошей наглядностью, большой моделирующей мощностью, которая позволяет отразить динамику взаимодействия элементов сети, совместить описание структуры управления и потоков данных. Е-сеть позволяет включить в себя множество внешних переменных без ограничений на характер их изменения.

Функционирование Е-сети заключается в срабатывании переходов и перемещении меток из одних позиций сети в другие [5]. Важной особенностью аппарата Е-сетей является детализация представления метки, которая может обладать набором атрибутов (признаков). Каждый из атрибутов метки несет в себе определенную количественную информацию о моделируемом меткой объекте.

Е-сеть произвольной сложности строится из фиксированного набора конструкций, называемых примитивами или элементарными сетями.

Элементарная сеть определяется как совокупность, состоящая из перехода t и множества всех структурных связок, в которых участвует переход t. То есть элементарная сеть включает в себя:

- переход t;
- совокупность входных и выходных позиций перехода t;

- дуги, соединяющие позиции и переход *t*;
- процедура функционирования перехода.

Будем обозначать элементарную сеть через *en*(*t*), где *t* принимает значения на множестве элементарных сетей (примитивов). Определим *en*(*t*), отвечающую переходу *t*, четверкой:

$$en(t) = \langle P_1, P_2, \Psi, \tau \rangle,$$

где: P_1, P_2 – конечные множества входных и выходных, соответственно, позиций перехода *t*;

Ψ – процедура функционирования перехода *t*;

τ – функция временной задержки;

Функция τ определяет длительность активной фазы сработавшего перехода. В общем случае $\tau \in \{0, \infty\}$. В конце фазы срабатывания перехода происходит вычитание меток из входных позиций и помещение меток в выходные позиции.

Процедура Ψ определяется совокупностью функций *C*, r_1, r_2 и ρ,

где: *C* – необходимое условие срабатывания перехода *t*;

r_1, r_2 – функции, соответственно, входного и выходного выбора;

ρ – функция преобразования атрибутов меток элементарной сети.

Условие *C* задается в виде логического выражения, аргументами которого являются $B = \{b, \overline{b}\}$, обозначающего занятость входных и выходных позиций метками.

Функция r_1 *задает подмножество множества всех входных позиций перехода* t*, из которых после срабатывания перехода вычитается по одной метке.*

Функция r_2 *задает подмножество множества всех выходных позиций перехода* t*, в которые после срабатывания перехода помещается по одной метке.*

Функции r_1 и r_2 записываются в виде условного выражения [3]:

$$r_i(t) = \{\Pi_{i1} \rightarrow X_{i1}, \Pi_{i2} \rightarrow X_{i2}, \ldots, \Pi_{ili} \rightarrow X_{ili}\},\ i = 1,2,$$

где Π_{ij} – некоторый предикат;

X_{ij} – определенное подмножество входных (i = 1) или выходных (i = 2) позиций;

$j = 1, 2, \ldots, l_i$.

Значением функции $r_i(t)$ является подмножество X_{ij}, которому соответствует первый истинный предикат Π_{ij} при просмотре условного выражения слева направо.

Значение предиката Π_{ij} определяется в зависимости от разметки данной элементарной сети, а также от состояния памяти сети и атрибутов меток.

Функция ρ определяет преобразование памяти элементарной сети, которое выполняется в конце фазы активности сработавшего перехода.

Рассмотрим более подробно функцию преобразования атрибутов метки.

В [4] операции над атрибутами меток объединены в общее понятие процедуры перехода:

$$\rho : \left[\Pi_1 \rightarrow (l_{11}, l_{12}, \ldots, l_{1k}); \ldots; \Pi_s (l_{s1}, l_{s2}, \ldots, l_{sm})\right],$$

где $l_{11}, \ldots, l_{sm}$ – операции над описателями меток.

В [2] определены процедуры стирания и записи нулевых значений атрибутов меток в ячейки памяти позиций сети при перемещении меток.

Формально данные операции описываются следующим образом:

Пусть $Y = \{y_1, y_2, \ldots, y_l\}$ — вектор ячеек памяти некоторой позиции, а $A = \{a_1, a_2, \ldots, a_k\}$ — вектор атрибутов метки, поступающей в эту позицию. Тогда факт попадания метки в позицию можно отразить следующим образом:

$$y_i \leftarrow a_i \text{ при } i = 1, 2, \ldots, k$$

$$y_i \leftarrow 0 \text{ при } i = k+1, \ldots, l, k < l$$

Из сказанного выше ясно, что процедуры преобразования атрибутов метки никак не влияют на логику работы переходов Е-сети, а лишь отображают преобразование внутренних параметров моделируемого объекта.

Однако в процессе функционирования радиосетей внутренние параметры системы (например, характеристики радиосигналов) оказывают значительное влияние на логику функционирования сети в целом. В связи с этим возникает необходимость разработки дополнительных правил функционирования элементарных сетей, которые бы задавали условия перемещения меток в зависимости от процедур изменения атрибутов меток.

Если $A = \{a_1, a_2, \ldots, a_k\}$ – вектор атрибутов объекта (метки), тогда при перемещении метки в результате выполнения функции преобразования ρ вектор A преобразовывается в $A' = \{a_1', a_2', \ldots, a_k'\}$. При этом $a_i' = f_i(a_i)$, где f_i – функция преобразования i-го атрибута метки.

В общем виде данное преобразование можно записать как:

$$A' = \rho(A) = \{f_1(a_1), f_2(a_2), \ldots, f_k(a_k)\} = \{a_1', a_2', \ldots, a_k'\}$$

Так как правила срабатывания перехода описываются логическими выражениями, а атрибут метки является количественной характе-

ристикой моделируемого объекта, необходимо поставить в соответствие истинное значение атрибута возможным значениям переменных булевой алгебры. В общем случае существуют некоторые ограничения на изменения характеристики объекта, отображаемой атрибутом метки. Положим, после выполнения процедуры преобразования характеристика объекта удовлетворяет заданным ограничениям. Тогда значение атрибута в терминах булевой алгебры равно 1. В противном случае значение атрибута равно 0. Или

$$\left(x_{\min} \le x \le x_{\max}\right) \to a = 1;$$

$$\left(x_{\min} > x > x_{\max}\right) \to a = 0,$$

где x – истинное значение характеристики объекта;

x_{min}, x_{max} – ограничения на допустимые значения характеристики объекта.

О п р е д е л е н и е. Значение вектора атрибутов A равно *true*, если логическое выражение $AL = \left\{a, \bar{a}\right\}$ равно 1. Значение вектора атрибутов A равно *false*, если логическое выражение $AL = \left\{a, \bar{a}\right\}$ равно 0. Или

$$AL = 1 \to A = \text{true},$$

$$AL = 0 \to A = \text{false}.$$

$AL = \left\{a, \bar{a}\right\}$ – логическое выражение с аргументами a и $\bar{a}$.

На основе вышесказанного введем обобщенную процедуру функционирования перехода Ψ. Для срабатывания перехода необходимо наличие:

- необходимого условия срабатывания перехода C;
- вычисленного значения функции входного выбора

$$r_1 = \left\{\Pi_1 \to X_1, \Pi_2 \to X_2, ..., \Pi_n \to X_n\right\};$$

- вычисленного значения функции входного выбора

$$r_2 = \left\{H_1 \to Y_1, H_2 \to Y_2, ..., H_m \to Y_m\right\},$$

где $H_i\left(h_1, h_2, ..., h_j\right)$, $j = \overline{1, m}$ – логическое выражение, принимающее истинное значение при истинных значениях всех его переменных h_j.

$$h_j = \begin{cases} \text{true, при } \left(A' = \text{true}\right) \wedge \bar{b}\left(y_j\right); \\ \text{false, при } \left(A' = \text{false}\right) \vee b\left(y_j\right) \end{cases}$$

Переменная h_j ставится в соответствие с каждой j-й выходной позицией перехода.

На первой фазе функционирования перехода проверяется необходимое условие его срабатывания. Если условие C выполняется, переход готов к срабатыванию. Наличие условия r_1 переводит переход в активную фазу. За время активной фазы (τ) выполняется процедура преобразования атрибутов перемещаемых меток и значение функции выходного выбора r_2. Вычисление истинности логического выражения H функции выходного выбора происходит на основе определения истинности вектора атрибутов A' и отсутствия метки в соответствующей выходной позиции перехода. В конце активной фазы происходит вычитание меток из входных позиций перехода (в соответствии с r_1) и помещение меток в выходные позиции (в соответствии с r_2).

Предложенное правило функционирования перехода Е-сети позволяет строить сетевые динамические модели структурно-функциональной организации радиосетей с учетом влияния как внутренних, так и внешних параметров на протекающие в них процессы.

Предложенный аппарат может быть применен для исследования структуры радиосетей, а также алгоритмов их функционирования в различных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Морозов В. К., Долганов А. В.* Основы теории информационных сетей: Учеб. для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 1987. – 271 с.

2. *Костин А. Е., Савченко Л. В.* Модифицированные Е-сети для исследования систем распределенной обработки информации // АВТ. – 1988. – № 6. – С. 27–35.

3. *Костин А. Е., Шаньгин В. Ф.* Организация и обработка структур данных в вычислительных системах. – М.: Высшая школа, 1987. – 248 с.

4. Применение микропроцессорных средств в системах передачи информации / Б. Я. Советов, О. И. Кутузов, Ю. В. Аветов – М.: Высшая школа, 1987. – 256 с.

5. *Донченко А. А., Езимов А. В., Пряхин А. В.* Сетевой аппарат формального описания динамических процессов // Теория и техника радиосвязи. – 2002. – Вып. 2. – С. 81–86.

УДК 621.395

А. Г. Ташлинский, П. А. Панкратов, В. В. Кальников

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЦИКЛОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ПОИСКОМ

Ульяновское высшее военное инженерное училище связи (kvvik@bk.ru)

Предложена модифицированная системы цикловой синхронизации, в которой помехоустойчивость увеличена за счет адаптации к изменению условий связи опознавателя синхросигнала и подсистемы удержания синхронизма. Предложен новый способ регистрации синхрогрупп.

Ключевые слова: математическое моделирование, цифровые системы передачи, системы цикловой синхронизации.

A. G. Tashlinsky, P. A. Pankratov, V. V. Kalnikov

MATHEMATICAL MODELLING OF SYSTEM OF CYCLIC SYNCHRONISATION WITH PARALLEL SEARCH

It is offered updated systems of cyclic synchronisation in which the noise stability is increased at the expense of adapting to change of conditions of link опознавателя synchronous signal and subsystems of deduction of synchronism. The new way of registration synchronous groups is offered.

Mathematical modelling, digital systems of transmission, system of cyclic synchronisation.

Динамика, надежность установления и качество поддержания связи с помощью цифровых систем передачи (ЦСП) во многом определяется характеристиками систем цикловой синхронизации (СЦС). Выбор параметров и способов построения СЦС играет определяющую роль в обеспечении помехоустойчивости ЦСП и оказывает существенное влияние на функционирование цифровой коммутируемой сети и качество цифровых каналов, предоставляемых пользователям. При устойчивом поддержании тактовой синхронизации для установления синхронизма по циклам на приемной стороне ЦСП необходимо обнаружение циклового синхросигнала, передаваемого в групповом сигнале системы. От способа обнаружения циклового синхросигнала существенно зависят время вхождения в синхронизм, вероятность фиксации ложного положения циклового синхронизма, время удержания циклового синхронизма и другие показатели процесса цикловой синхронизации.

В настоящее время большинство ЦСП имеют СЦС, построенные по принципу скользящего поиска с адаптацией к величине вероятности искажения символов в тракте передачи. Для повышения быстродействия СЦС используют адаптивные приемники с несколькими каналами поиска. Однако такие системы характеризуются сравнительно невысокими показателями по быстродействию и помехоустойчивости. Особенно это сказывается при высокой вероятности ошибочного приема символа и ряде других дестабилизирующих факторах [1]. Поэтому актуальным является поиск новых походов к построению СЦС.

Время вхождения в синхронизм, характеризующее быстродействие СЦС может быть уменьшено использованием более сложных алгоритмов поиска циклового синхросигнала. Один из таких подходов состоит в использовании параллельного поиска циклового синхросигнала одновременно на всех битовых позициях цикла. В работе [2] с использованием математического моделирования проведен сравнительный анализ известных СЦС [3, 4] с параллельным поиском синхросигнала (ППС). Лучшее быстродействие из исследованных показала СЦС, предложенная в [4]. Однако ее недостатком является низкая помехоустойчивость, обусловливаемая высокой вероятностью обнаружения ложного синхросигнала. Кроме того, в условиях высокой вероятности ошибочного приема символов наблюдается резкое уменьшение накопления синхроинформации, приводящее к снижению быстродействия подсистемы поиска.

С целью устранения описанных недостатков была предложена модифицированная СЦС [5, 6, 7], в которой помехоустойчивость увеличена за счет адаптации к изменению условий связи опознавателя синхросигнала и подсистемы удержания синхронизма. Одновременно достигается и увеличение быстродействия системы цикловой синхронизации, поскольку временной интервал поиска синхросигнала адаптивно изменяется в зависимости от изменения условий связи. В каждом конкретном случае он приближается к минимально возможному, при котором еще обеспечивается требуемая помехоустойчивость. Кроме того, предложен новый способ регистрации синхрогрупп: опознание синхросигнала производится в зависимости от количества совпавших символов. На выходе опознавателя циклового синхросигнала, реализованного по такому принципу, результат иден-

тификации синхросигнала фиксируется в виде весового коэффициента w, величина которого зависит от числа искаженных синхросимволов, например, по следующему правилу:

$$w = \begin{cases} q \cdot m, & \text{если } k = 0; \\ \left]\dfrac{q \cdot m -]m/2[}{k}\right[, & \text{если } 0 < k <]m/2[; \\ 0, & \text{если } k \geq]m/2[, \end{cases}$$

где $q = 1, 2\ldots$ – целое число;

m – длина синхрогруппы;

k – количество искаженных синхросимволов;

$]\bullet[$ – целая часть числа.

Идентификация синхросигнала осуществляется при условии, когда наибольшее число откликов, накопленное в одной из ячеек накопителя, превышает число откликов в других ячейках не менее чем на некоторую заданную пороговую величину обнаружения синхросигнала $d_{\text{ос}}$. Такой подход позволяет снизить вероятность обнаружения ложного синхросигнала.

С увеличением числа q сокращается время обнаружения циклового синхросигнала, однако увеличивается вероятность обнаружения ложного синхросигнала. Для уменьшения последней необходимо увеличивать пороговую величину $d_{\text{ос}}$, что в свою очередь влияет на снижение быстродействия системы. Поэтому для оптимизации времени обнаружения циклового синхросигнала необходим поиск оптимальных параметров $q_{\text{опт}}$ и $d_{\text{ос опт}}$ при допустимой средней вероятности обнаружения ложного синхросигнала $P_{\text{лс ср}}$.

Предложенный алгоритм поиска циклового синхросигнала осуществляет непрерывную проверку всех битовых позиций цикла (в том числе и при нахождении СЦС в синхронизме). За счет этого при обнаружении потери синхронизма немедленно устанавливается новая позиция циклового синхронизма, а время вхождения в синхронизм значительно уменьшается. Кроме того, результаты непрерывного поиска циклового синхросигнала используются как дополнительная информация для получения условий выхода из состояния синхронизма. При этом условием выхода из состояния синхронизма является ситуация, при которой число накопленных откликов опознавателя синхросигнала на прежней позиции истинного синхросигнала за очередной цикл испытания будет меньше порога потери синхронизма $d_{\text{пс}}$, зависящего от величины допустимого числа искаженных синхросимволов $k_{\text{доп}}$ и номера текущего цикла поиска синхросигнала L ($L = 1, 2,\ldots, i,\ldots$) по следующему правилу:

$$d_{\text{пс}}(L) = \begin{cases} q \cdot m \cdot L, & \text{если } k_{\text{доп}} = 0; \\ \left]\dfrac{q \cdot m -]m/2[}{k_{\text{доп}}}\right[\cdot L, & \text{если } 0 < k_{\text{доп}} <]m/2[\end{cases}, \quad (1)$$

где $q = 1, 2\ldots$ – целое число;

$]\bullet[$ – целая часть числа.

Предложенный алгоритм проверки выхода системы цикловой синхронизации из синхронизма (алгоритм удержания циклового синхронизма) отличается от алгоритмов известных систем [4, 5] тем, что проверка по выходу устройства из состояния синхронизма осуществляется не через фиксированное число i циклов испытания, выбранное в зависимости от качества принимаемого группового сигнала, а после каждого цикла испытания. Так как устанавливаемое фиксированное число i циклов испытания при плохом качестве принимаемого группового сигнала может достигать больших значений, то при истинном сбое циклового синхросигнала это может привести к задержке времени проверки по выходу устройства из синхронизма (до i циклов), хотя система цикловой синхронизации может определить потерю синхронизма раньше. Предложенный алгоритм проверки выхода СЦС из синхронизма позволяет определять состояние выхода системы из синхронизма быстрее, поскольку требует числа циклов испытания меньшего чем i). Это, в свою очередь, позволяет сократить время восстановления синхронизма.

С использованием результатов работы [2] для определения качественных показателей предложенного алгоритма поиска и удержания циклового синхронизма СЦС была построена ее аналитическая модель. Показано, что зависимость вероятности обнаружения ложного синхросигнала $P_{\text{лс}}(L)$ от числа циклов поиска L можно найти как

$$P_{\text{лс}}(L) = 1 - \left(1 - \sum_{i=d_{\text{ос}}}^{U_{\max}(L)} p_{\text{нло } i}(L) \sum_{j=0}^{i-d_{\text{ос}}} p_{\text{ниo } j}(L)\right)^{N-1}, \quad (2)$$

функцию распределения вероятностей времени обнаружения синхросигнала $F_{\text{ос}}(L)$ – как

$$F_{\text{ос}}(L) = \left(1 - \sum_{i=0}^{U_{\max}(L)} p_{\text{нло } i}(L) \sum_{j=0}^{i+d_{oc}-1} p_{\text{ниo } j}(L)\right)^{N-1},$$

а функцию распределения вероятностей времени обнаружения выхода из синхронизма $F_{\text{вых с}}(L)$ – как

$$F_{\text{вых с}}(L) = \sum_{i=0}^{U_{\max}(L)-1} p_{\text{нио}\,i}(L),$$

где N – длина цикла передачи;

$p_{\text{нло}\,i}(L)$ – вероятность накопления i откликов одной из N-1 ячеек накопления ложных откликов за L циклов наблюдения;

$p_{\text{нио}\,j}(L)$ – вероятность накопления j откликов ячейкой накопления истинных откликов за L циклов наблюдения;

$U_{\max}(L)$ – величина максимального накопления ячейкой накопления откликов за L циклов наблюдения.

Величина накопления $U_{\max}(L)$ при определенной величине допустимого числа искаженных синхросимволов $k_{\text{доп}}$ не может превысить значения порога потери синхронизма $d_{\text{пс}}(L)$ за то же число циклов наблюдения ($U_{\max}(L) = d_{\text{пс}}(L)$), поэтому может быть определена с помощью выражения (1). Вероятности $p_{\text{нло}\,i}(L)$, $p_{\text{нио}\,j}(L)$ определяются по уравнению Маркова [8] с помощью матриц переходных вероятностей состояний накопителя ложных откликов и накопителя истинных откликов СЦС.

Среднее время обнаружения синхросигнала $\overline{L}_{\text{ос}}$ от числа циклов поиска можно найти как:

$$\overline{L}_{\text{ос}} = \sum_{L=0}^{n}\left(1 - F_{\text{ос}}(L)\right),$$

где n – величина максимального возможного состояния ячейки накопления откликов.

При известной $\overline{L}_{\text{ос}}$ помехоустойчивость подсистемы поиска можно оценить по величине $P_{\text{лс}}(L)$, определив эту величину с помощью линейной аппроксимации. Искомая величина средней вероятности $P_{\text{лс ср}}$ будет соответствовать пересечению вертикальной линии $\overline{L}_{\text{ос}}$ и прямой линейной аппроксимации, определяемой зависимостью (2).

Средние значения времен восстановления $\overline{L}_{\text{в}}$ и удержания $\overline{L}_{\text{уд}}$ синхронизма модифицированной СЦС с ППС можно найти по соотношениям:

$$\overline{L}_{\text{в}} = \begin{cases} \overline{L}_{\text{л вых}}, \text{если } \overline{L}_{\text{уд}} \geq \overline{L}_{\text{ос}}; \\ \overline{L}_{\text{ос}}, \text{если } \overline{L}_{\text{уд}} < \overline{L}_{\text{ос}}, \end{cases}$$

$$\overline{L}_{\text{у}} = \frac{\overline{L}_{\text{л вых}}}{P_{\text{лс ср}}} = \frac{\sum_{L=0}^{n}\left(1 - F_{\text{вых с}}(L)\right)}{P_{\text{лс ср}}},$$

где $\overline{L}_{\text{л вых}}$ – среднее время обнаружения выхода из синхронизма.

Моделирование показало, что предложенная СЦС по сравнению с системами [3, 4] обеспечивает меньшее среднее время обнаружения циклового синхросигнала. В частности, при длине цикла передачи 1200, длине синхрогруппы 9 символов, $q_{\text{опт}} = 1$, $d_{\text{пс опт}} = 4$, при допустимой средней вероятности обнаружения ложного синхросигнала $P_{\text{ср лс}} = 5 \cdot 10^{-3}$ и вероятности ошибочного обнаружения одиночного символа $P_{\text{ош}} = 5 \cdot 10^{-2}$ среднее время обнаружения циклового синхросигнала по сравнению с системой [4] уменьшается в 1,8 раза, а по сравнению с системой [3] – в 2,2 раза. При той же вероятности ошибочного обнаружения одиночного символа и пакетировании ошибок в канале связи длиною до 10 элементов среднее время обнаружения циклового синхросигнала по сравнению с системой [4] уменьшается в 2 раза, а по сравнению с системой [3] уменьшается в 3,3 раза.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (проект № 4184-р/6525).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кальников, В. В.* Математическое моделирование систем цикловой синхронизации цифровых систем передачи / В. В. Кальников, П. А. Панкратов // Проблемы и пути совершенствования систем связи различных звеньев управления в условиях проведения антитеррористических операций : сб. тр. науч.-техн. конф. 29 ноября 2006 г. / УВВИУС – Ульяновск, 2006. – С. 62–64.

2. *Ташлинский, А. Г.* Быстродействующий алгоритм поиска циклового синхросигнала / А. Г. Ташлинский, В. В. Кальников, П. А. Панкратов // Радиолокация, навигация, связь: Труды XII междун. научн.-техн. конференции. – Воронеж: Саквоее, 2006. – С. 855–861.

3. А. с. 1172052. МПК[4] H04L 7/08. Устройство для синхронизации по циклам / Шадрин Б.Г.; заявл. 21.07.83, опубл. 07.08.85. Бюл. № 29. – 8 с. ил.

4. Пат. 2239953 Российская Федерация, МПК[7] H04L 7/08. Устройство для синхронизации по циклам / Кальников В. В., Ташлинский А. Г.; заявитель и патентообладатель Ульян. техн. ун-т.; заявл. 26.11.02. опубл. 10.11.04. Бюл. № 31. – 33 с. ил.

5. Пат. 2284665 Российская Федерация, МПК[7] H04L 7/08. Устройство для синхронизации по циклам / Кальников В. В., Бережной С. Л.; заявитель и патентообладатель ФНПЦ ОАО "НПО "Марс"; заявл. 12.04.05, опубл. 27.09.06. Бюл. № 27. – 22 с. ил.

6. Заявка на выдачу патента на изобретение № 2006107030/09, МПК[8] H04J 3/00, 3/06. Устройство временного группообразования / Кальников В. В., Панкратов П. А., Ташлинский А. Г.; заявитель и патентообладатель Ульян. техн. ун-т.; заявл. 06.03.06. – 33 с. ил.

7. *Ташлинский, А. Г.* Алгоритм поиска циклового синхросигнала с адаптацией к изменению условий связи / А. Г. Ташлинский, В. В. Кальников, П. А. Панкратов // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А. С. Попова. Серия "Научная сессия, посвященная дню радио" – М.: Инсвязьиздат. – 2006. Выпуск LXI. – С. 119–121.

8. *Вентцель, Е. С.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Высш. шк. 2000. – 480 с.

УДК 519.21 + 519.856

А. Ю. Холодов

АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ ПУТЕМ ИМИТАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Астраханский государственный университет (artemhol@rambler.ru)

Проверка адекватности математических моделей должна осуществляться путем построения имитационных моделей, отражающих суть происходящих процессов и сравнения характеристик, вычисленных теоретически, с данными, полученными в ходе имитационного эксперимента.

Ключевые слова: модели, имитационное моделирование.

A. Y. Kholodov

ANALIZE CAPACITY TWO-COMPONENT SYSTEM WITH HELP IMITATION EXPERIMENTS

Test adequacy mathematical models have to do by creating imitational model which describe essential happens processes and comparing characteristics theoretically compute by data are got by imitation experiment.

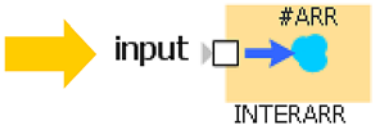
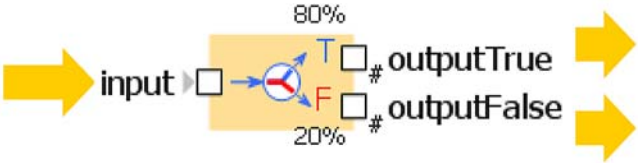
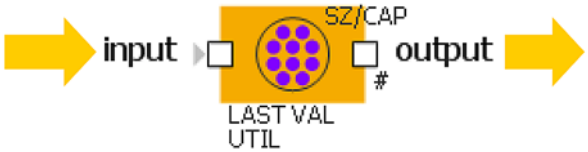
Models, imitational modeling.

Аннотация

Проверка адекватности математических моделей, естественно, должна осуществляться путем построения имитационных моделей, отражающих суть происходящих процессов и сравнения характеристик, вычисленных теоретически, с данными, полученными в ходе имитационного эксперимента.

На рис. 1, 2 и 3 соответственно представлены блок-схемы двухкомпонентных систем с последовательным соединением, параллельным соединением и циклической дисциплиной прохождения.

Таблица

Представление и описание активных элементов, используемых в блок-схемах (рис. 1–3)
Source   Источник заявок. Используется в качестве начальной точки потока заявок. Генерирует заявки любых подклассов базового класса `Entity` через случайные промежутки времени. Время генерации может как подчиняться закону распределения, так и определяться заданным Вами расписанием. Может быть задано как максимально допустимое число генераций, так и число заявок, создаваемых за каждый раз. Если создаваемые заявки не могут покинуть объект, то они хранятся в буфере выходного порта. Если создание заявок подчиняется закону распределения, то время до создания следующей заявки вычисляется при создании заявки.
Sink    Уничтожает поступившие заявки. Используется в качестве конечной точки потока заявок. Объект Sink автоматически подсчитывает входящие заявки и высчитывает среднюю интенсивность входящего потока.
SelectOutput    Принимает заявку, и затем, в зависимости от заданного условия, передает ее на один из двух выходных портов. Условие может зависеть от самой заявки или от какой-то другой информации. Поступившая заявка покидает объект в тот же момент времени.
Delay    Задерживает заявки на заданное время. Одновременно могут быть задержаны сразу несколько заявок, но не более заданной вместимости объекта *capacity*. Заявки задерживаются независимо друг от друга – время задержки вычисляется отдельно для каждой заявки. Как только время задержки истекает, заявка тут же покидает объект. Если объект Delay заполнен полностью, то новую заявку он не примет.

Hold

Блокирует/разблокировывает поток заявок на определенном участке блок-схемы. Элемент не хранит заявки внутри, являясь модификатором взаимодействия объектов. Этот объект применяется для блокировки поступления заявок от какого-то определенного объекта.

Методы и результаты исследования

Блок-схемы представлены набором активных элементов библиотеки Enterprise Library.

В таблице представлено описание используемых блоков.

Блок **Source** генерирует заявки стандартного типа `Entity` с заданным законом распределения интервалов поступления (рис. 1.1).

Блок **Delay** имитирует работу обслуживающего устройства с заданным распределением времени обслуживания (рис. 1.2).

На рис. 1.3 представлена реализация отказов.

Заявка поступает в блок **selectOutput**, который направляет ее либо в блок обслуживания **delay**, если условие delay.size() == 0 истинно (устройство свободно), либо в блок **sink** в противном случае – отказ в обслуживании. В блок **sink1** заявка поступает, только в случае успешного последовательного обслуживания в блоках **delay** и **delay1**.

Вероятность отказов вычисляется как отношение числа заявок получивших отказ к числу всех заявок. Введена вещественная переменная p_otkaz (рис. 1.4) (метод getCount(), примененный к активному объекту **sink**, возвращает число прошедших заявок).

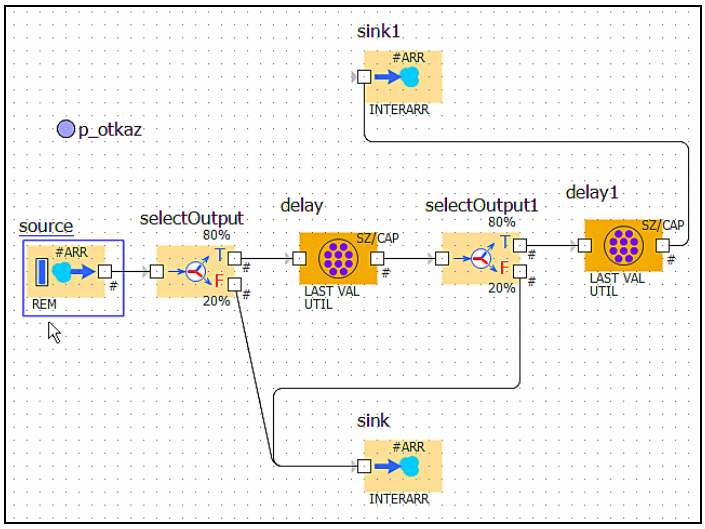


Рис. 1. Блок-схема двухкомпонентной последовательной системы с отказами

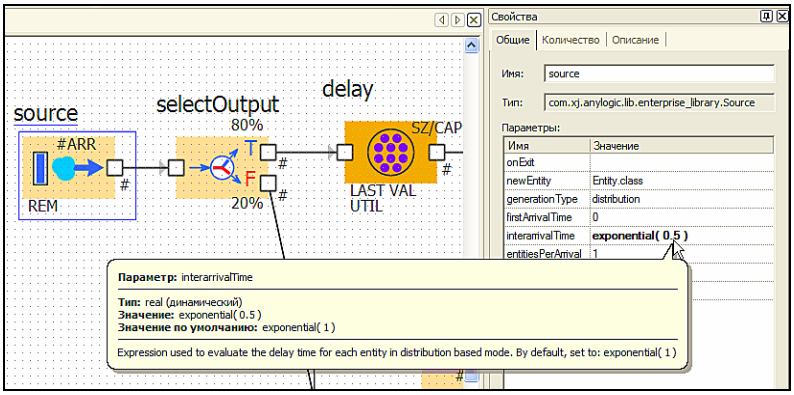


Рис. 1.1. Генерация входящего потока. Показательный закон распределения интервалов поступления с частотой $\lambda = 0{,}5$ (одна заявка в две единицы модельного времени)

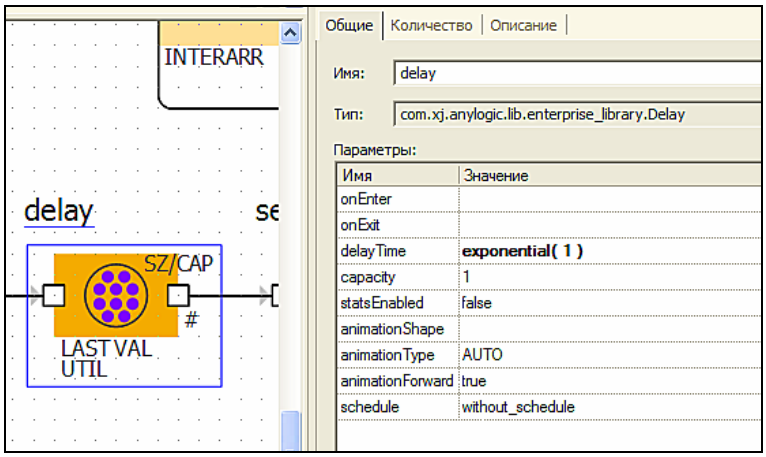


Рис. 1.2. Имитация обслуживающего устройства с показательным распределением времени обслуживания и частотой λ = 1 (одна заявка за одну единицу модельного времени)

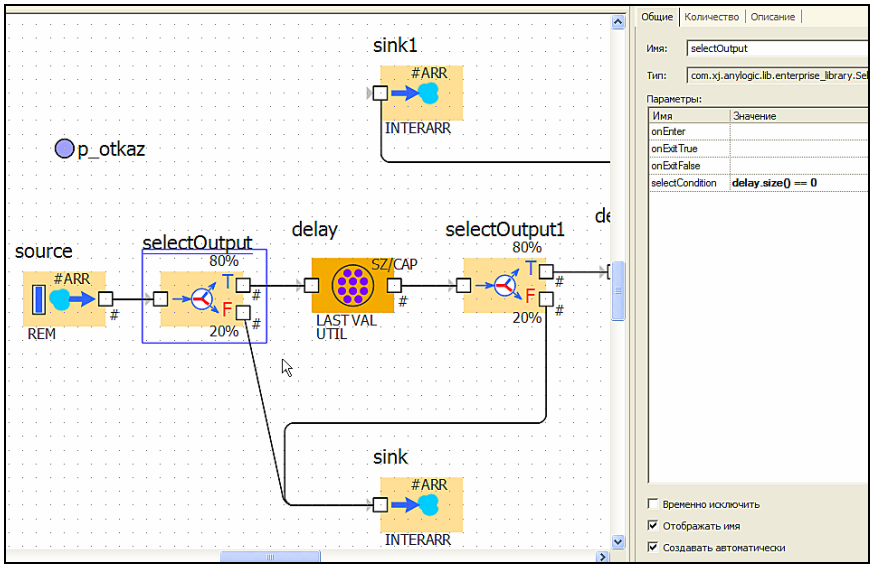


Рис. 1.3. Реализация отказов

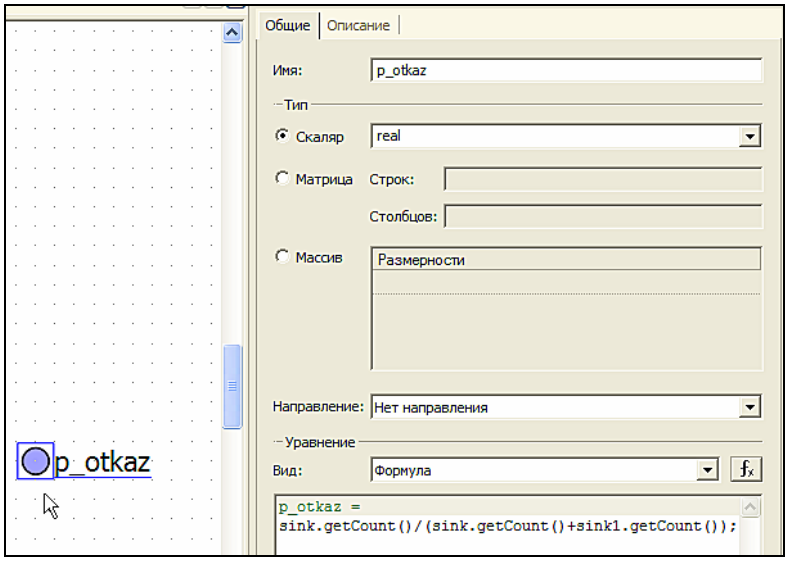


Рис. 1.4. Определение переменной p_otkaz, фиксирующей вероятность отказа системы

Таким образом, реализована схема последовательного соединения с отказами и введена переменная, отвечающая за вероятность отказа. Поскольку нас интересует вероятность отказа в стационарном режиме, полученная теоретически с помощью метода вероятностных графов, то выполняя имитационную модель в течение продолжительного модельного времени, можно оценить интервальное значение переменной p_otkaz и представить ее значение в виде временной функции. В качестве параметров, задающих показательные распределения временных интервалов поступления заявок и времен обслуживания, приняты $\lambda = \mu_1 = \mu_2 = 1$ для установления адекватности модели и представлено графическое представление p_otkaz (рис. 1.5). Поскольку теоретическая вероятность отказа $P_{\text{отк_т}} = 0{,}75$, то, учитывая, что стационарная вероятность полученная в результате имитационного эксперимента, находится в интервале $0{,}74 < P_{\text{отк_им}} < 0{,}77$, делается однозначный вывод о правильном логическом построении блок-схемы (рис. 1).

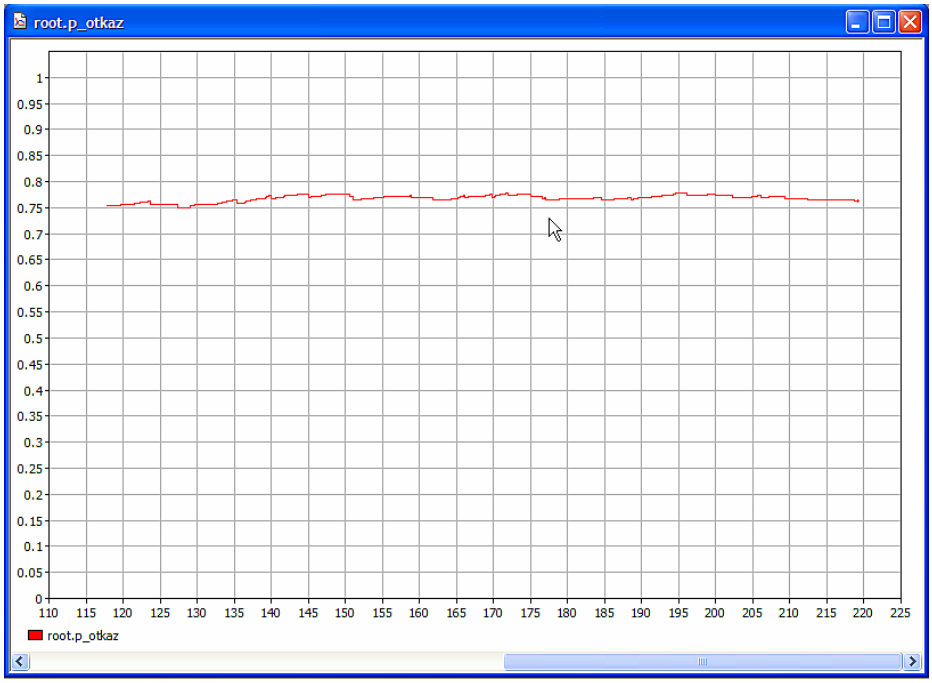


Рис. 1.5. Графическое представление значений переменной p_otkaz от времени схемы с последовательным соединением

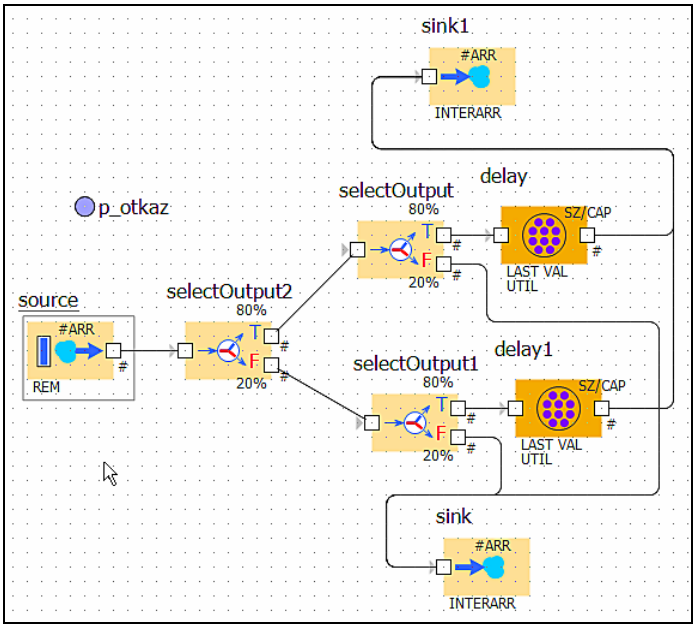


Рис. 2. Блок-схема двухкомпонентной параллельной системы с отказами

Параллельное соединение двух обслуживающих устройств в блок-схеме на рис. 2 реализовано введением активного блока **selectOutput2**, осуществляющего разбиение входящего потока на два (рис. 2.1).

Проводя имитационный эксперимент с параметрами $\lambda = \mu_1 = \mu_2 = 1$, фиксируем вероятность отказа (графическое представление на рис. 2.2), которая согласуется с теоретической вероятностью отказа, полученной, используя формулы Эрланга – $P_{\text{отк_т}} = 0{,}2$, делаем вывод об адекватности имитационной модели, реализованной блок-схемой (рис. 2).

Теперь перейдем к рассмотрению блок-схемы с циклической дисциплиной прохождения двухкомпонентной системы с отказами (рис. 3), которая является наиболее сложной из трех представленных, но в ней также используются проверенные логические решения, представленные в блок-схемах на рис. 1 и 2.

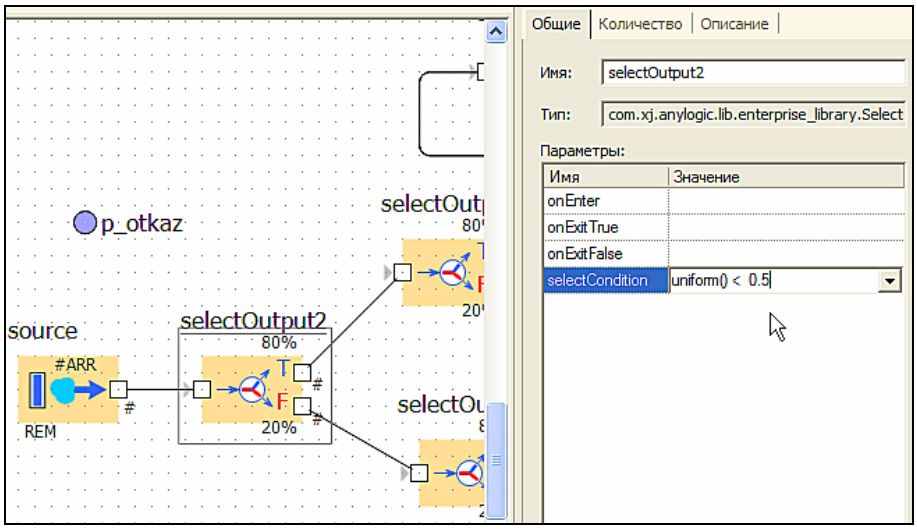


Рис. 2.1. Программная реализация блока selectOutput2. Условие uniform < 0.5 распределяет заявки через порты с равной вероятностью

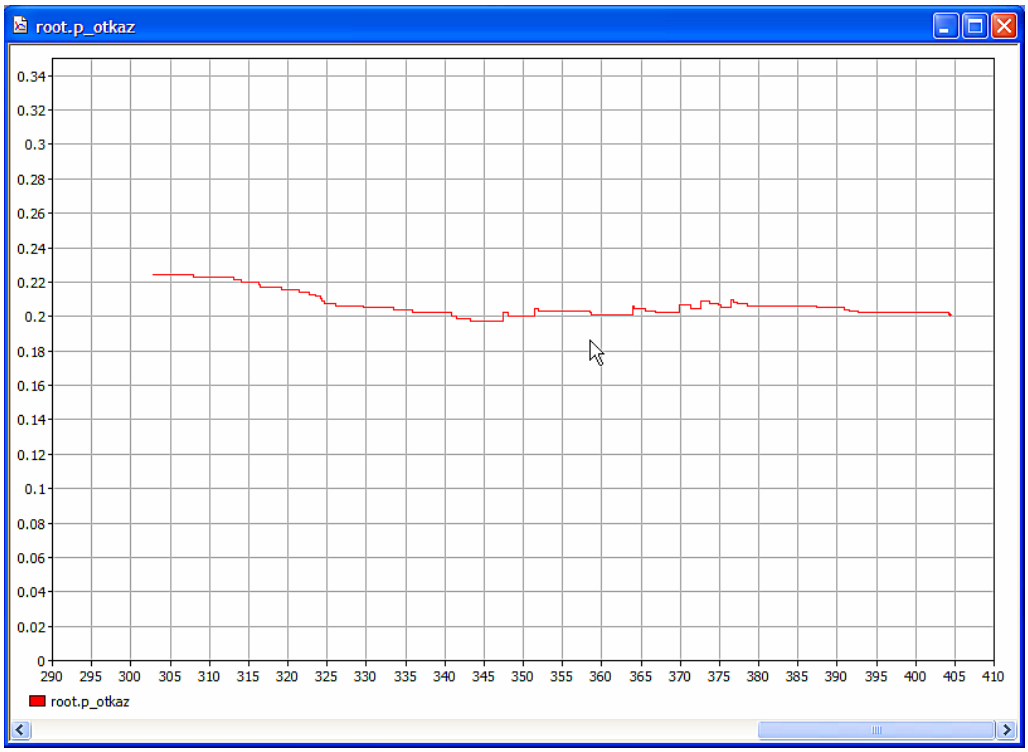


Рис. 2.2. Графическое представление значений переменной p_otkaz от времени схемы с параллельным соединением

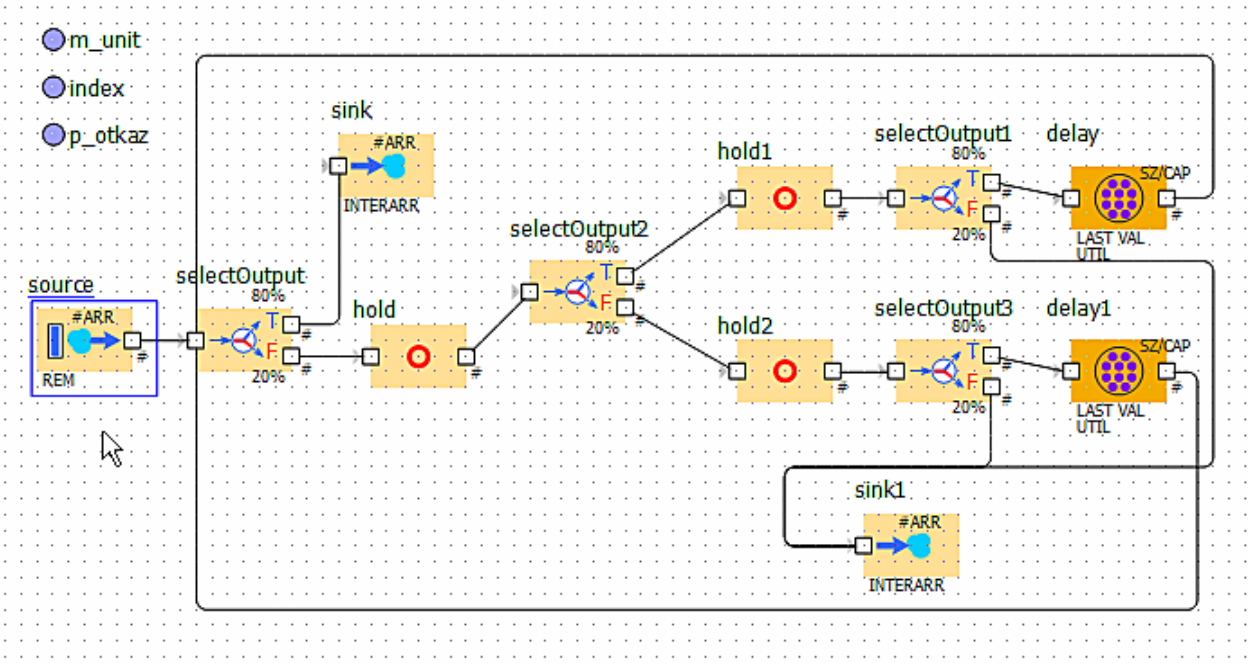


Рис. 3. Блок-схема двухкомпонентной системы с циклической дисциплиной обслуживания с отказами

В имитационных реализациях последовательного и параллельного соединений был реализован подход использования прохождения пассивных заявок через систему активных блоков, т. е. это возможно, когда схема с различными разветвлениями организовывает единое направление. Блок-схема на рис. 3.3 должна реализовать циклическое движение – это реализуется введением класса активных сообщений с полями, учитывающими прохождение обслуживающих устройств (рис. 1).

Поля cab_1 и cab_2 имеют целочисленный тип, при инициализации их значения равны нулю, и изменяются, соответственно, после обслуживания в объектах **delay** и **delay1**.

Особенность программной реализации в среде AnyLogic такова, что запись и чтение данных в полях сообщений возможна только в портах активных объектов. Изменение значения поля реализовано программным кодом (((Pac)entity).cab_1 = 1;) в параметре **onExit**, выполняемом, когда заявка покидает активный объект **delay** (рис. 3.2).

В блок-схему (рис. 3) введены еще две переменные m_unit и index. m_unit – массив, его размерность равна количеству обслуживающих устройств, в данном случае двум, в нем фиксируется информация о значениях полей. index – целочисленная переменная, значение которой используется в качестве условия перехода в объекте **selectOutput2**.

В активный объекте **selectOutput**, во-первых, осуществляется проверка прохождения всех обслуживающих устройств – логическое произведение равенств значений полей единице (((((Pac)entity).cab_1 == 1) & (((Pac)entity).cab_2 == 1))) и в случае истинности условия, заявка считается обслуженной и поступает в бункер **sink**, во-вторых, формируется массив m_unit (рис. 3.3).

Кроме того, вводится пользовательская функция f_min, обрабатывающая значения массива m_unit и возвращающая значение переменной index, отвечающей номеру обслуживающего устройства, куда будет направлена заявка (объекту delay соответствует 0, delay1 – 1), также осуществляется блокировка/разблокировка соответствующих направлений. Вызов функции производится, используя параметр onEnter объекта hold. Код функции приведен в листинге 1.

Отказы в обслуживании реализованы также как и в двух, описанных выше блок-схемах, комбинацией активных блоков **selectOutput** (с условием возможности обслуживания) и **delay**. Заявки, получившие отказ в обслуживании, направляются в бункер **sink1**.

На рис. 3.4 представлена зависимость значений переменной p_otkaz от времени, и в соответствии с этим делается вывод о согласованности теоретических и имитационных результатов и адекватности математической модели основанной на методе рекуррентного переноса нагрузки разрезов вероятностного графа.

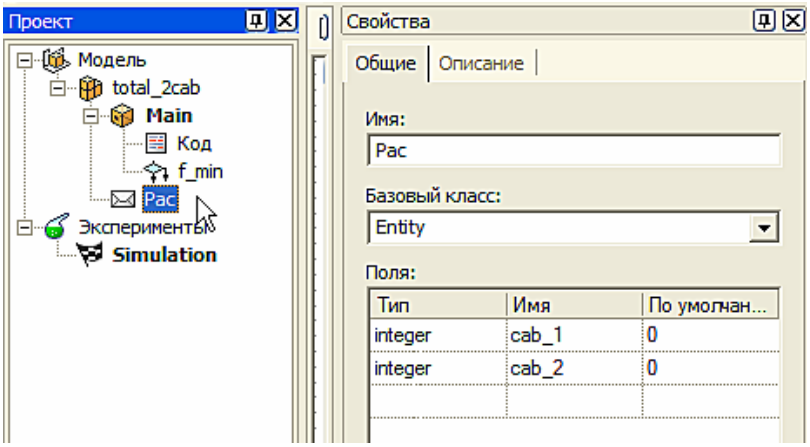


Рис. 3.1. Описание класса активных сообщений Pac с полями: cab_1 и cab_2

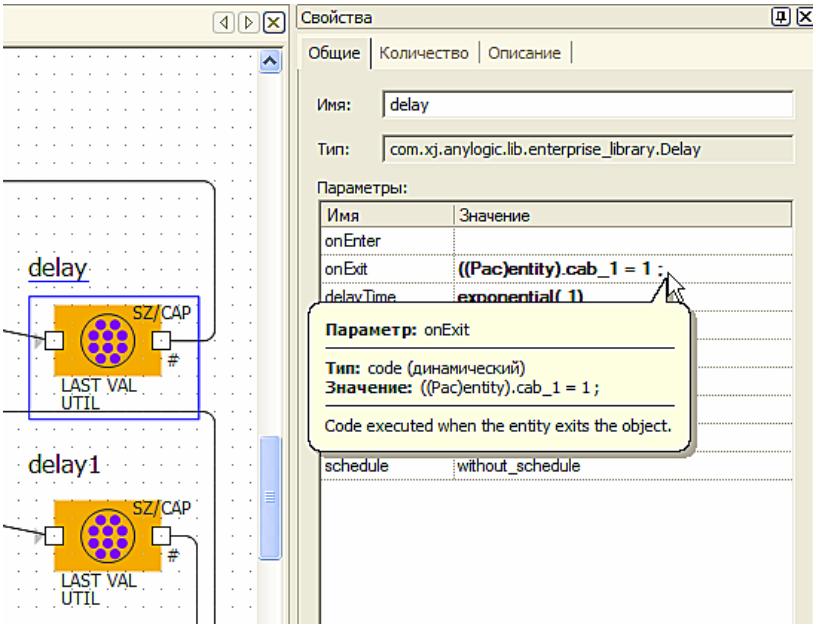


Рис. 3.2. Изменение значения поля cab_1 класса сообщений Pac

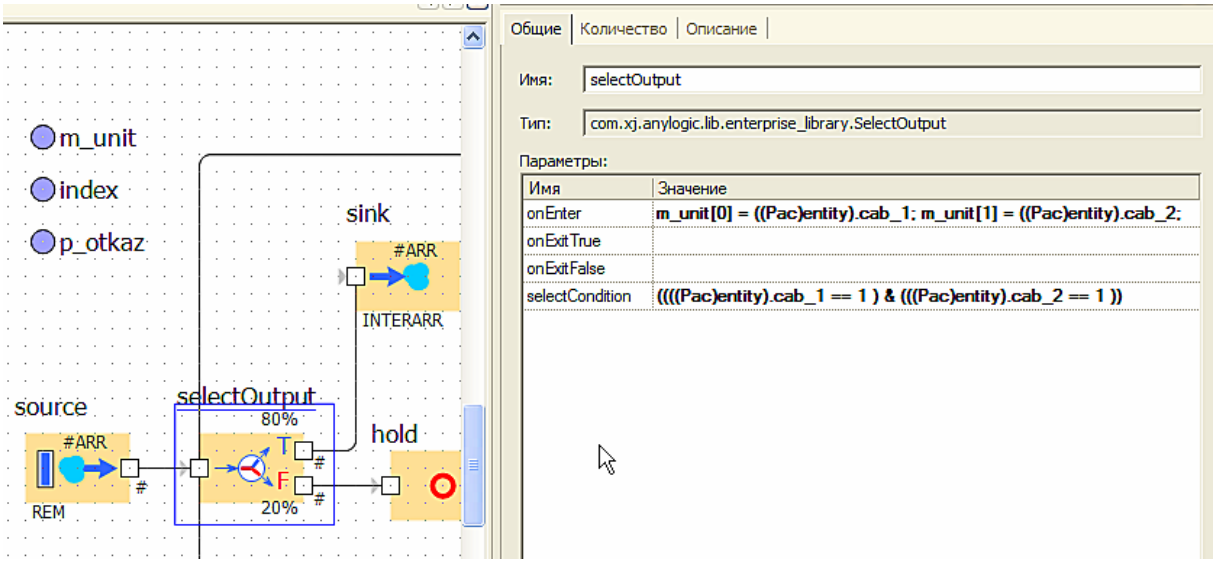


Рис. 3.3. Функциональность активного объекта selectOutput

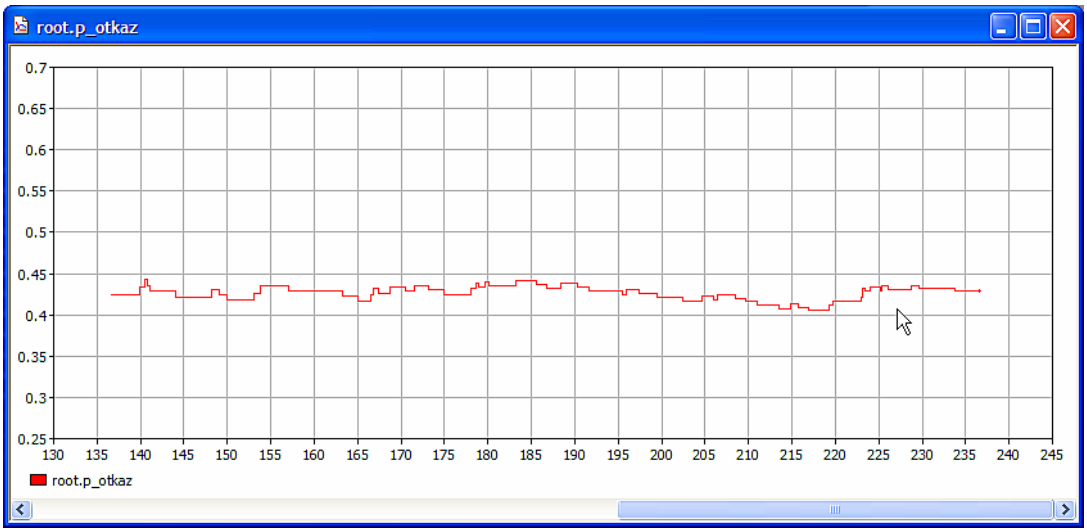


Рис. 3.4. Графическое представление значений переменной p_otkaz от времени двухкомпонентной схемы с циклической дисциплиной обслуживания

Листинг 1.

```
index = –1;
for (int i = 0; i < 2; i++) {
 if ( m_unit[i] == 0 ) {
 index = i;
 }
}
switch (index) {
case 0: {hold1.unblock();hold2.block(); break;}
case 1: {hold2.unblock();hold1.block(); break;}
}
return index;
```

Заключение

Осуществлена проверка адекватности математической модели метода рекуррентного переноса нагрузки разрезов вероятностного графа для циклической дисциплины прохождения, и получены данные о том, что пропускная способность такой системы всегда выше системы с параллельным соединением и ниже при параллельным соединением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Холодов, А. Ю.* Метод вероятностных графов для систем массового обслуживания (СМО) с циклической дисциплиной обслуживания / А. Ю. Холодов // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. – 2006. – № 8(21). С. 373–378.

2. *Самарский А. А., Михайлов А. П.* Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 320 с.

3. *Холодов А. Ю., Зарипов Р. М.* Метод рекуррентной нагрузки разрезов вероятностного графа для систем массового обслуживания (СМО) с циклической дисциплиной прохождения / А.Ю. Холодов, Р.М. Зарипов // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. – 2007. – № 2(28). С. 20–24.

4. *Карпов Ю.* Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.

Научное издание

И З В Е С Т И Я

Волгоградского государственного технического университета
№ 8 (46), 2008 г.

С е р и я "АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ИНФОРМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ"
Выпуск 5

Межвузовский сборник научных статей

Редактор *Л. П. Кузнецова*

Темплан заказных изданий 2008 г. Поз. № 45.
Подписано в печать 24.10.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,14. Уч.-изд. л. 14,42.
Тираж 120 экз. Заказ 833.

Волгоградский государственный технический университет.
400131, Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28.

РПК "Политехник"
Волгоградского государственного технического университета.
400131, Волгоград, ул. Советская, 35.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В сборнике научных статей "Известия ВолгГТУ", серии "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах" публикуются статьи, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований и представляют научный и практический интерес для широкого круга специалистов в области вычислительной техники и информатики.

Вопрос об опубликовании статьи или ее отклонении решает редакционная коллегия сборника, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редколлегия направляет представленный для издания материал на рецензирование.

Рукопись должна быть набрана и сверстана в текстовом редакторе Word и распечатана на лазерном принтере в режиме полной загрузки тонера. Формат бумаги А4 (210×297 мм).

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на дискетах или компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Дискета должна быть вложена в отдельный конверт, на этикетке дискеты указываются фамилии авторов статьи.

При наборе текста следует соблюдать следующие требования: поля – верхнее – 2,0 см, нижнее – 3,0 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см; шрифт Times, кегль 14, интервал полуторный.

Текст набирается с применением автоматического переноса слов, перед знаками препинания (в том числе внутри скобок) пробелы не допускаются, после них ставится один пробел. Разрядка слов не допускается, следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, рисунков, таблиц. Для набора символов в формульном редакторе MS Equation (MS Word) использовать установки (Стиль/Размеры) только по умолчанию; рисунки должны быть выполнены в редакторах векторной графики, таких как CorelDRAW или в любом приложении к Word. Допускается сканирование рисунков в программе Microsoft Photo Editor.

Инициалы и фамилия автора (авторов) пишутся над заглавием статьи. Ниже заглавия, перед основным текстом, указывается организация или предприятие, в котором работает автор статьи. В конце статьи ставится полное название учреждения, которое рекомендует статью для публикации, дата и подпись автора (всех авторов).

Литературные ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТом 7.1–2003 "Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления". Библиографический список использованной литературы, составленный в порядке упоминания в тексте, дается в конце статьи; связь с основным текстом осуществляется цифровым порядковым номером в квадратных скобках в строке. Подстрочные ссылки не допускаются.

Иностранные фамилии и термины в тексте следует приводить в русском переводе. В библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводится на языке оригинала.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

При обозначении единиц физических величин должна применяться Международная система единиц (СИ).

Объем статьи не должен превышать 8 страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки, помеченные буквами *а*, *б*, и т. д. Рекомендуется включать в сборник статьи с авторским коллективом не более четырех человек с участием каждого автора в одной–двух статьях.

Статьи должны представлять сжатое четкое изложение результатов, полученных автором без повторов приводимых данных в тексте статьи, таблицах и рисунках. К статье должны быть приложены: сведения об авторах (полные имя, отчество, фамилия, ученая степень, звание, домашний адрес, номера телефонов – служебного и домашнего, E-mail), документация, подтверждающая возможность ее открытого опубликования.