МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ ВОЛГОГРАДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ИНФОРМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Выпуск 18

№ 22(125) Межвузовский сборник научных статей 2013
Издается с января 2004 г.

Волгоград
2013

УДК 881.3

Учредитель: ГОУ высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный технический университет»

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

Главный редактор сборника «Известия ВолгГТУ»
академик РАН *И. А. Новаков*

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

д-р техн. наук, профессор БрГТУ *В. И. Аверченков*
д-р техн. наук, профессор ПензГУ *А. М. Бершадский*
д-р хим. наук, профессор ВолгГТУ *Л. Н. Бутенко*
д-р техн. наук, профессор МГТУ СТАНКИН *Г. Д. Волкова*
д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *А. С. Горобцов*
д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *А. М. Дворянкин*
д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *А. В. Заболеева-Зотова*
д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *А. Г. Кравец*
д-р техн. наук, профессор ТагГРТУ *В. М. Курейчик*
д-р техн. наук, профессор АИСИ *И. Ю. Петрова*
д-р техн. наук, профессор АстрГТУ *О. М. Проталинский*
д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *А. Н. Шилин*
д-р техн. наук, профессор *Юрген Баст* (Технический ун-т Горной Академии, г. Фрайберг, Германия)
д-р философии *Ле Квет Тан* (Университет г. Канто, Вьетнам)
д-р техн. наук, профессор ВолгГТУ *С. А. Фоменков* (ответственный секретарь)

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 22(125) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2013. – 160 с. (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 18).
ISBN 978–5–9948–1292–1

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. 97. Табл. 21. Библиогр.: 253 назв.

ISBN 978–5–9948–1292–1

© Волгоградский государственный технический университет, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Часть I. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

Аверченков В. И., Гулаков К. В., Шарапов М. Г.
Двухуровневая модель выбора состава покрытия сварочных электродов..... 5

Акинфиев В. К., Цвиркун А. Д.
Управление развитием крупномасштабных систем:
оптимизационно-имитационный подход..... 12

Богданов В. С., Богданов С. В.
Инварианты и тензорные инварианты сетей..... 21

Голованчиков А. Б., Дулькина Н. А., Аристова Ю. В., Дикарева Н. Н.
Математическое моделирование химического реактора
с диффузионной структурой потока для реакции *n*-го порядка..... 25

Михайлов В. К., Плешаков И. А.
Определение параметров структуры объекта
по его переходным характеристикам..... 29

Семенова И. А., Медведева Л. И.
Расчет динамической характеристики процесса адсорбции
паров бензина в горизонтальном адсорбере..... 34

Симонов Б. В., Симонова И. Э.
Ряды по синусам и косинусам с коэффициентами из класса ($ОВ_г$)..... 38

Часть II. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Алексеев А. В., Розалиев В. Л., Орлова Ю. А.
Окрашивание изображений в градациях серого
на основе индивидуальных предпочтений..... 46

Ботвинкин П. В.
О методах защиты от неблагоприятных факторов, воздействующих
на автоматизированные информационно-измерительные
системы контроля и учета энергоресурсов..... 50

Витехновский В. И., Орлова Ю. А., Розалиев В. Л.
Автоматизация определения тональности текста..... 53

Дербишер Е. В., Патракеев Д. С., Дербишер В. Е.
Применение критериальных оценок при управлении
композиционными материалами..... 56

Кизим А. В.
Комплексный методологический подход к решению задач
поддержки технического обслуживания и ремонта оборудования..... 60

Кизим А. В., Денисов М. В.
Организация программно-информационной поддержки технического
обслуживания и ремонта производственного оборудования
с использованием онтологий и мультиагентных систем
на примере дорожно-строительных машин..... 67

Кульцова М. Б., Садовникова Н. П., Дмитриенко Д. В., Рашевский Н. М.
Комплексный анализ безопасности транспортной системы Волгограда….... 72

Нгуен Т. В., Кизим А. В.
Стратегии, методы поддержки и модель управления ТОиР оборудования… 78

Солошенко А. Н., Орлова Ю. А., Розалиев В. Л.
Автоматизация реферирования новостных интернет-текстов..... 81

Чалый С. Ф., Богатов Е. О.
Предварительная структуризация исходных данных в задачах интеллектуального анализа процессов……..... 86
Шакиров В. А., Фадеев В. А.
Модель анализа развития генерирующих мощностей с использованием нечеткого вывода.....……..... 90

Часть III. УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Брумштейн Ю. М.
Анализ факторов и моделей принятия решений, связанных с подготовкой и опубликованием научных статей..... 97
Кобзев А. А., Махфуз А. А.
Особенности реализации четвертой формы инвариантности в системах программного управления.....…..... 102
Май Нгок Тханг, Камаев В. А., Тхай Куанг Винь, Щербаков М. В., Ха Ван Муон
Управление гибридной энергосистемой на основе правил……..... 106
Соколов А. А., Дворянкин А. М., Ужва А. Ю.
Разработка метода автоматизации процесса нормоконтроля технической документации..... 113
Сычев О. А., Иванов В. А.
Визуализация регулярного выражения в виде графа как инструмента помощи составителю регулярного выражения..... 118
Туменайу Офут О., Шабалина О. А.
Применение педагогических агентов для разработки адаптивных обучающих игр…..... 123

Часть IV. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Артемьев Е. М., Привалов О. О.
Исследование одномерных методов восстановления информации при построении стереопары по 2D изображению..... 128
Горобцов А. С., Дьяков А. С., Олейников А. С.
Алгоритмы управления виброзащитным подвесом со ступенчатым изменением жесткости..... 131
Казначеева А. А., Кочеткова О. В., Ломкова Е. Н., Эпов А. А.
Онтология автоматизированного структурно-параметрического проектирования основовязаного трикотажа..... 135
Касимов Д. Р., Кучуганов А. В.
Возможности системы графического поиска чертежей, основанной на структурных моделях графических образов…..…. 138
Коробкин Д. М., Фоменков С. А., Колесников С. Г.
Алгоритм кластеризации текстовой информации в области физических знаний.....…… 143
Петрухин А. В., Уварова Т. В.
Автоматизация проектирования захватных устройств промышленных роботов.....…… 150
Фоменков С. А., Колесников С. Г., Коробкин Д. М.
Формирование и структура баз данных по физическим эффектам.....……. 153

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

УДК 004.414.23

В. И. Аверченков, К. В. Гулаков, М. Г. Шарапов

ДВУХУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА СОСТАВА ПОКРЫТИЯ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Брянский государственный технический университет

aver@tu-bryansk.ru, mikhail_sharapov@mail.ru, gulakov32@yandex.ru

Рассмотрены проблемы моделирования многофакторных зависимостей на основе экспериментальных данных с применением методов когнитивного моделирования. Предложена методика построения регрессионной модели зависимости прочностных характеристик сварного соединения от состава покрытия электрода на основе нейросетевого подхода. Представлены результаты нейросетевого моделирования функции ударной вязкости.

Ключевые слова: когнитивное моделирование, искусственные нейронные сети, сварочные материалы, аппроксимация нейронными сетями, нейросетевое моделирование.

V. I. Averchenkov, K. V. Gulakov, M. G. Sharapov

TWO-LEVEL MODEL SELECTION OF WELDING ELECTRODES COVERAGE

Bryansk State Technological University

The problems of modeling multivariate relationships on the experimental data basis using the methods of cognitive modeling considered. The method of construction of a regression model depends of strength characteristics of the weld on composition of electrode coating based on neural network approach presented. The results of the neural network modeling functions toughness presented.

Keywords: cognitive modeling, neural networks, welding materials, neural network approximation, neural network modeling.

Существующие подходы моделирования процессов и обработки экспериментальных данных опираются на регрессионный анализ данных. Задача аппроксимации или регрессионного анализа данных является типичной обратной задачей воссоздания причин по их следствиям. Как и большинство обратных задач, она относится к типу плохо определенных (некорректных); т. е. можно подобрать множество регресссионных моделей, удовлетворяющих заданным критериям.

Сложность моделирования заключается в том, что рассматриваемый класс задач представляет собой моделирование многопараметрической многофакторной зависимости, знания о которой содержатся только в имеющемся наборе измеренных значений независимых переменных (параметров) и соответствующих им зависимых переменных (факторов или признаков). При анализе многомерных данных будем считать, что каждый признак является случайной величиной. Тогда данные типа «объект–признак» размерности $n \times n$, в которых признаки X_j, $j = 1, ..., p$ являются случайными величинами, будем представлять в виде p-мерной случайной векторной переменной X. Существует много задач, в которых для обработки экспериментальных данных используются различные подходы к аппроксимации функций характеристик объекта исследования в зависимости от заданных параметров.

В качестве одного из приложений возьмем задачу о выборе состава покрытия сварочных электродов. Целью решения этой задачи является повышение прочности и качества сварного соединения, что, в общем случае, следует рассматривать как сложную взаимозависимость различных факторов. Разработка нового или совершенствование существующего сварочного материала представляет собой трудоемкий процесс, включающий изготовление большого количества экспериментальных серий, в каждой

из которых изготовляется до десяти и более опытных марок. Далее по стандартной схеме осуществляется сварка проб наплавленного металла и сварных соединений, разрезка и изготовление типовых и специальных образцов. Работы завершаются испытаниями и исследованиями образцов по стандартным или специально разработанным программам. Во избежание влияния на результаты исследований случайных факторов, таких как сварочные дефекты, обычно пробы после сварки проходят контроль (в том числе ультразвуковой, гамма- или рентгенографический). Все эти работы в совокупности отличаются не только большой трудоемкостью, но и длительностью. Так, в ЦНИИ КМ «Прометей» разработка новой марки сварочных электродов, даже при наличии определенного задела, обычно занимает от трех до пяти лет. Сокращение сроков и повышение качества результатов можно достичь используя методы математического моделирования [5].

Учитывая сложность рассматриваемой задачи, ее решение можно разделить на два уровня. На первом уровне интеллектуального анализа используется когнитивная модель, на втором – нейросетевая.

Задачей интеллектуального анализа данных является извлечение из них знаний и нахождение закономерностей на базе полученных знаний. Для эффективного анализа технологического процесса и управления качеством сварочного производства необходимо определить, какие параметры должны быть включены в план анализа, выявить факторы, которые оказывают существенное влияние на ход процесса. При этом количество измеряемых параметров может превосходить число измерений, что приводит к ситуации малой выборки.

Вторая особенность интеллектуального анализа данных – формулировка целевых критериев, поскольку известно много фактов значительного расхождения диагностических оценок разных специалистов, даже принадлежащих одной научной школе.

Третья проблема – наличие данных, содержащих погрешности и шумы, учет которых повлечет ошибки при нахождении закономерностей в экспериментальных данных.

Четвертая проблема связана с получением данных путем проведения трудоемких и растянутых во времени экспериментов. За это время возникает целый ряд субъективных и объективных причин появления пропуска в данных.

Пятый аспект анализа данных – одинаковые внешние проявления, обусловленные различными внутренними механизмами, что приводит к существенной неоднородности классов данных, которая формируется на основании заданных внешних критериев.

Анализ указанных проблем позволяет сделать вывод о том, что при интеллектуальном анализе экспериментальных данных необходимо найти в них структуру, выявить интересующие эксперта закономерности, позволяющие корректировать процесс производства. Под структурой данных понимают группы «схожих» по параметрам объектов. Каждой такой группе эксперт может поставить в соответствие некоторый технологический режим или скорректировать текущий, что позволит управлять качеством результата.

Таким образом, имеется некоторый класс задач, связанный с моделированием и анализом закономерностей в экспериментальных данных. Эти задачи имеют ряд общих признаков. Во-первых, исходными данными для анализа служат результаты экспериментов, отражающие стохастический процесс. Во-вторых, данные имеют многомерную структуру: n зависимых параметров и m измеряемых. В-третьих, данные могут быть неоднородными и содержать пробелы. В некоторых случаях требуется не только решение прямой задачи, такой как отыскание зависимости свойств произведенного изделия от параметров производства, но и обратной, в которой моделируется зависимость параметров производственного процесса от свойств изделия.

Построение когнитивной модели является первым этапом решения задачи, цель которого – систематизация знаний о факторах, влияющих на результат, а также определение величины влияния регрессионной модели, строящейся на следующем этапе, в сравнении с другими факторами.

С учетом вышеизложенного предлагается методика повышения качества сварного соединения на основе двухуровневой модели, включающей когнитивный и нейросетевой подходы. Первый уровень (или первый этап) построения модели включает разработку когнитивной модели рассматриваемой системы в целом, что позволяет выявить важнейшие факторы, управление которыми даст эффективный результат. На втором уровне производится моделирование некоторых факторов с помощью нейросетевых

методов на основе имеющихся экспериментальных данных.

Обобщенная схема процедуры построения двухуровневой модели представлена на рис. 1.

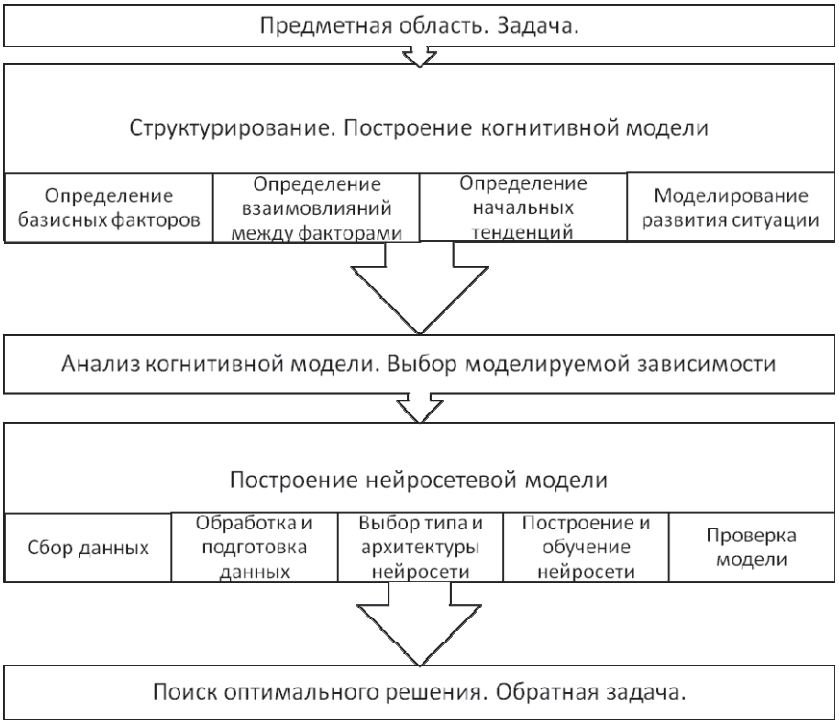


Рис. 1. Схема процедуры построения двухуровневой модели

Процедуру построения двухуровневой модели можно разделить на пять основных этапов. На первом этапе производится сбор информации о предметной области, а также формулируются цели и задачи моделирования. Информация об исследуемом процессе содержит как описательную часть, так и статистические данные, либо данные экспериментальных исследований. На следующем этапе собранная информация структурируется и производится построение когнитивной модели. Процесс построения когнитивной карты, позволяющий дополнительно структурировать и систематизировать полученные знания о системе, включает: определение списка рассматриваемых факторов, определение взаимозависимостей между этими факторами, моделирование развития ситуации. В рамках третьего этапа, в результате анализа когнитивной карты, необходимо определить наиболее значимые факторы, требующие дополнительного специального моделирования, с целью влияния за счет них на систему в целом. При этом следует учитывать возможность моделирования выбранных объектов или процессов нейросетевыми методами. На последующем этапе производится построение нейросетевой модели, включающее подэтапы: сбор экспериментальных данных об исследуемом объекте, подготовку, чистку и нормирование данных, определение типа и архитектуры используемой нейросети, построение, обучение нейросети, проверка корректности модели на тестовых данных. На заключительном этапе производится оптимизация параметров модели, что является поиском оптимального решения. Применяются методы оптимизации с целью нахождения значений параметров модели, обеспечивающих максимальное влияние рассматриваемого фактора когнитивной карты на результат. При необходимости строится нейросетевая модель для обратной задачи, применяемой для тонкого управления системой.

Когнитивное моделирование является одним из классов имитационного моделирования, в основе которого лежит построение и исследование когнитивной карты ситуации. Для этих целей используется аппарат знаковых, взвешенных знаковых и функциональных знаковых графов. Он позволяет работать с данными как качественного, так и количественного типа.

Когнитивное моделирование используется при работе с ослабоструктурированными (слабоформализованными) системами, может использоваться в тех областях, где никогда не

делались попытки провести моделирование. В таких системах невозможен традиционный эконометрический подход к анализу процессов для выработки комплексных (т. е. затрагивающих различные аспекты исследуемой системы) решений.

В работе исследовалась проблема повышения качества сварочной продукции. В результате анализа были выявлены следующие концепты, влияющие на процесс производства сварочной продукции:

1) процент брака;
2) качество свариваемого материала;
3) качество сварочного материала;
4) сварщики;
5) аттестация и сертификация;
6) сварочное оборудование;
7) технология сборки сварки;
8) нормативная документация;
9) проектная документация;
10) контроль качества (ОТК);
11) средняя ЗП;
12) ИТР;
13) заказчик;
14) общетехнический уровень сварочного производства;
15) стоимость производства 1 т продукции;
16) объем производства в единицу времени.

Составлена когнитивная карта (рис. 2), на которой представлены все рассматриваемые концепты. Карта представляет собой орграф, отражающий взаимное влияние концептов. Пунктирные линии обозначают отрицательное влияние, обычные – положительное.

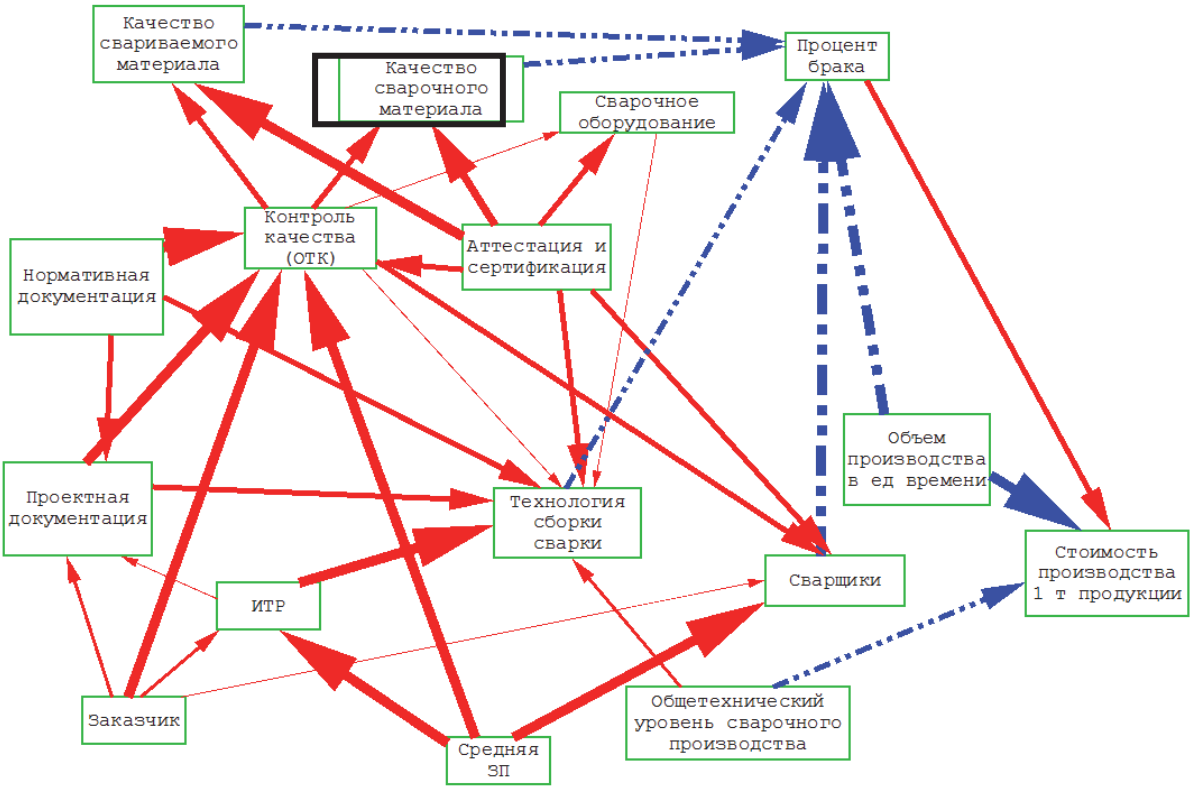


Рис. 2. Когнитивная карта процесса производства сварочной продукции

Определено взаимовлияние концептов и построена когнитивная модель процесса. При анализе полученной модели сделаны выводы о том, что наибольшее влияние на нее оказывает концепт «Средняя ЗП»; на втором месте находится концепт «Аттестация и сертификация». Саамыми подверженными влиянию со стороны модели являются концепты «Процент брака» и «Стоимость производства 1 т продукции». Один концепт никак не влияет на модель – это «Стоимость производства 1 т продукции». Существуют также концепты, на которые никак не влияет модель – это концепты № 5, 8, 11, 13, 14. Изменить уровень таких концептов можно только воздействием извне. Расчеты производились с применением системы поддержки принятия решений на основе когнитивного моделирования «ИГЛА» [1].

На втором уровне рассматривается проблема качества сварочных материалов. Модели-

руется зависимость прочностных характеристик металла шва от состава покрытия электрода на основе экспериментальных данных.

Основные этапы процесса нейросетевого моделирования представлены на рис. 3. Предлагается использовать нейросеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки. Для решения рассматриваемой задачи с применением искусственной нейронной сети следует прежде всего спроектировать структуру сети, адекватную поставленной задаче. Это предполагает выбор количества слоев сети и нейронов в каждом слое, а также определение необходимых связей между слоями.

Рис. 3. Этапы процесса нейросетевого моделирования

Подбор количества нейронов во входном слое обусловлен размерностью входного вектора x. Подобная ситуация и с выходным слоем, в котором количество нейронов принимается равным размерности ожидаемого вектора d. Серьезной проблемой остается подбор количества скрытых (внутренних) слоев и числа нейронов в каждом из них. Так, слишком большое число нейронов может привести к эффекту гиперразмерности сети и плохому качеству фильтрации помех (эффект «проклятия размерности»), а слишком малое – к грубой аппроксимации зависимости. Задача определения оптимального числа нейронов является трудноформализуемой и противоречивой и чаще всего требует вмешательства исследователя [4]. Для определения архитектуры многослойного персептрона были исследованы сети с различным количеством нейронов в скрытом слое.

В задаче о выборе состава покрытия электродов целью является поиск состава покрытия электродов (а именно содержание CaO, MgO, TiO_2, CaF_2), который обеспечивает необходимые характеристики сварного шва. Рассматриваются следующие характеристики шва:

P – ударная вязкость, Дж/см^2;

Q – удельная энергия разрушения, Дж/см^2;

R – удельная энергия зарождения трещины, Дж/см^2;

S – удельная энергия распространения трещины, Дж/см^3.

Эти свойства зависят от состава покрытия электродов, а также от температуры образца сварного шва [5].

Таким образом, имеем:

$$f(X,T)=\left[P,Q,R,S\right],$$

где X – вектор состава покрытия электрода, в котором каждый элемент x_i – процентное содержание некоторого вещества в составе покрытия электрода; T – скаляр, температура; P, Q, R, S образуют вектор характеристик сварного шва.

Первая часть решения задачи сводится к отысканию регрессионной модели $f(X,T)$ на основе анализа экспериментальных данных.

Построена нейросетевая модель на основе многослойного персептрона, которая для заданного состава покрытия электрода и заданной температуры определяет прочностные характеристики металла шва (P, Q, R, S). Максимальная ошибка модели составила около 2 %. Посредством полученной модели рассчитано оптимальное содержание легирующих элементов в составе покрытия электрода (CaO+MgO–30 %, TiO_2–10 %, CaF_2–20 %), которое обеспечивает ударную вязкость P=244 Дж/см^2, удельную энергию разрушения Q=162 Дж/см^2, удельную энергию зарождения трещины Q=65 Дж/см^2, удельную энергию распространения трещины S=97 Дж/см^2 при температуре T=+20 °C. Построенная нейросетевая модель позволяет определить для заданного состава покрытия электрода X и заданной температуры T прочностные характеристики сварного шва P, Q, R, S.

При решении задачи поиска оптимального состава покрытия электрода целью является определение процентного содержания легирующих компонентов, обеспечивающее максимальные показатели прочностных характеристик металла шва. Такая задача рассматривалась в [3], однако не производилась оптимизация целевой функции.

Существуют различные методы многокритериальной оптимизации функции многих переменных. Рассматриваются методы прямого поиска оптимума функций многих переменных. Такие методы оперируют только значениями функции. Все они обладают различными достоинствами и недостатками, и выбор типа свертки в задаче многокритериальной оптимиации является важным этапом, от которого зависит сама возможность нахождения оптимального решения. Для решения задачи о выборе оптимального состава покрытия электрода был выбран метод равномерной оптимизации, в котором производится линейная свертка в условиях приоритета критериев $F(X) = \sum_{i=1}^{m} \lambda_i f_i(x) \rightarrow max$, где $F(X)$ – целевая функция, $f_i(x)$ – прочностные характеристики металла шва; λ_i – коэффициент нормирования [2].

Получены значения параметров целевой функции: состав покрытия электрода и соответствующие им расчетные значения прочностных характеристик металла шва при различных температурах. Оптимальным составом покрытия электрода, обеспечивающим максимальные значения прочностных характеристик металла шва можно считать состав с содержанием TiO_2=5 %; CaF_2=25 %; CaO+MgO= 30 %.

Разработана программная система нейросетевого моделирования прочностных характеристик металла шва. На рис 4 представлен фрагмент интерфейса системы. В показанном диалоге производится симуляция обученной нейросети для решения задачи о выборе состава покрытия электрода. Пользователь указывает состав покрытия, а также температуру и по нажатию кнопки «расчет» на выходах получает прогнозные показатели прочностных характеристик металла шва для заданного состава покрытия электрода.

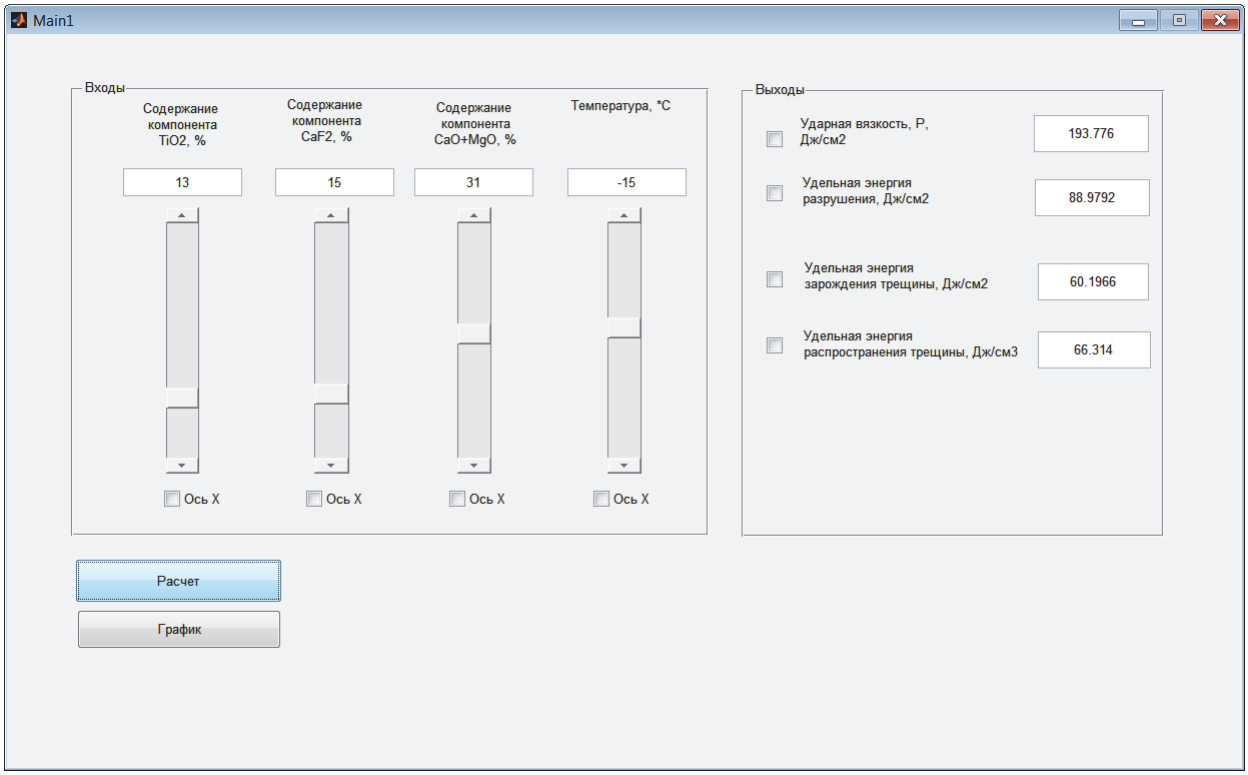


Рис. 4. Фрагмент интерфейса программной системы

График аппроксимируемой функции ударной вязкости P, реализованный нейросетью многослойный персептрон с одним скрытым слоем и 8-ю нейронами в нем представлен на рис. 5.

Классический подход к решению задач рассматриваемого класса сопряжен с рядом трудностей – это и выбор базисных кривых, и необходимость оптимизировать функцию погрешности, что требует применения методов оптимизации для многомерных функций. Задачу минимизации функций погрешности сводят либо к задаче решения системы линейных уравнений, либо к задаче линейного программирования, что значительно сложнее. При нели-

нейной аппроксимации решается система нелинейных уравнений, а эта задача имеет большую вычислительную сложность. При этом трудности определения коэффициентов аппроксимируемой функции нескольких аргументов многократно увеличиваются. Если экспериментальные данные отражают стохастический процесс, требуется привлечение дополнительного инструментария теории вероятности. В этом случае аппроксимирующая функция становится регрессиионной моделью, а задача ее формирования относится к классу задач регрессионного анализа.

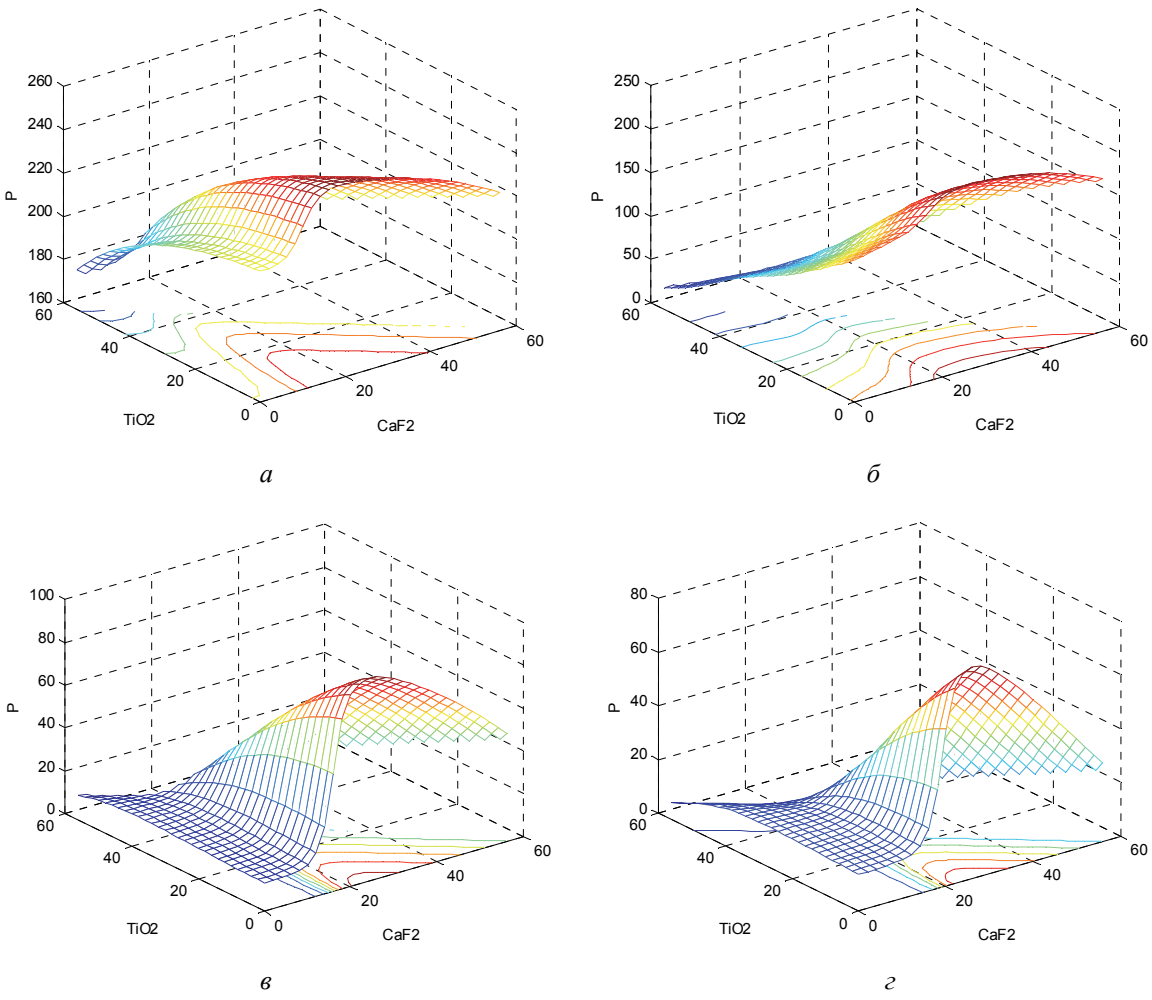


Рис. 5. График функции ударной вязкости:
а – ударная вязкость при $T = +20$ °C; *б* – ударная вязкость при $T = -20$ °C;
в – ударная вязкость при $T = -40$ °C; *г* – ударная вязкость при $T = -60$ °C.

В аппарате математической статистики существуют методики построения линейных и нелинейных регрессионных зависимостей. Нелинейные зависимости с точки зрения теории планирования эксперимента строятся главным образом на основе полиномов второй степени. Более сложные нелинейные регрессионные модели строят с использованием линеаризующих преобразований. В этом случае появляются дополнительные трудности с подбором экспертом подходящих функций для замены, а также приходится минимизировать сумму квадратов отклонений для преобразованных переменных, а не исходных, что не одно и то же. При работе с многомерными данными вычислительная сложность алгоритмов возрастает многократно.

Обработка многомерных данных, включающая задачи классификации, создания новой структуры признакового пространства и интерпретации их, хранения, передачи по каналам связи, представляет определенные трудности. Решение этих задач значительно упрощается, если подвергнуть сжатию размерность признакового пространства. Такое сжатие возможно, поскольку в большинстве случаев признаки

взаимосвязаны (коррелированы) и, следовательно, данные избыточны с точки зрения информации, и эта избыточность полностью определяется корреляционной матрицей исходных переменных *X*. Однако подобное сжатие всегда ведет к потере некоторой информации, что является существенным недостатком классических методов обработки многомерных данных.

На этом фоне использование нейросетей как универсальных аппроксиматоров для построения регрессионных моделей является менее трудоемким и значительно более универсальным методом. Нейросети открывают ряд качественно новых возможностей, особенно в отношении создания регрессионнных моделей, наиболее полно учитывающих реальные свойства системы, в том числе нелинейность, и обеспечения быстродействия для получения конечного результата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гулаков, В. К.* Система поддержки принятия решений на основе когнитивного моделирования «ИГЛА» / В. К. Гулаков, Д. Г. Лагерев, А. Г. Подвесовский // Программные продукты и системы. – 2007. – № 3. – С. 103–104.

2. *Рыков, А. С.* Системный анализ. Модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации / А. С. Рыков. – М.: МИСиС, 2009. – 608 с.

3. *Юркинский, С. В.* Разработка низколегированных электродов, обеспечивающих высокую хладостойкость сварных соединений корпусных конструкций из сталей типа АБ : дис. ... канд. техн. наук / С. В. Юркинский. – 2009. – С. 179.

4. *Гулаков, К. В.* Выбор архитектуры нейронной сети для решения задач аппроксимации и регрессионного анализа экспериментальных данных / К. В. Гулаков // Вестн. БГТУ. – 2013. – № 2. – С. 95–105.

5. *Юркинский, С. В*. Улучшение качества электродов типа 48ХН / С. В. Юркинский, М. Г. Шарапов, В. В. Гежа, Р. В. Бишоков // Вопросы материаловедения. – 2000. – № 3. – С. 97–101.

УДК 62-505

В. К. Акинфиев, А. Д. Цвиркун

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ: ОПТИМИЗАЦИОННО-ИМИТАЦИОННЫЙ ПОДХОД

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН

akinf@ipu.rssi.ru

В работе рассмотрены модели и методы управления развитием промышленных компаний со сложной структурой активов, основанные на оценке и выборе инвестиционных программ развития компаний.

Ключевые слова: планирование и разработка бизнес-планов инвестиционных проектов, оптимизационно-имитационный подход.

V. K. Akinfiev, A. D. Tsvirkun

MANAGEMENT DEVELOPMENT OF LARGE-SCALE SYSTEMS: OPTIMIZATION-SIMULATION APPROACH

Institute of Control Sciences V. A. Trapeznikov Academy of Sciences

The paper discusses the models and methods of management of development of industrial companies with a complex structure of assets, based on the evaluation and selection of investment programs of companies.

Keywords: planning and development of business plans for investment projects, optimization-simulation approach.

Интегрированные компании планируют реализацию, как правило, множества инвестиционных проектов, ориентированных на развитие дочерних предприятий. Инвестиционные проекты предприятий часто взаимозависимы, и их реализация влияет на финансово-экономические показатели холдинговой компании. При разработке инвестиционных проектов для группы предприятий или предприятий со сложной внутренней структурой требуется применение многоуровневых моделей. Различные имитационно-оптимизационные модели отвечают задачам, решаемым в отдельных предприятиях.

1. Методы построения комплекса производственно-финансовых моделей

Рассмотрим задачи выбора инвестиционной стратегии развития промышленных компаний, имеющих сложную структуру производственных активов (предприятий), объединенных общей технологической схемой производства продукции (вертикально-интегрированные компании) [2]. Выбор состава и очередности инвестиционных проектов определяет «траекторию» изменения во времени производственно-финансовых показателей компании и степень их приближения к целям стратегического развития.

Задача оптимизации состоит в выборе наилучшего варианта инвестиционной программы развития компании (составе и очередности реализации проектов) в смысле выбранного критерия оптимизации при заданных ограничениях на выполнение целевых установок, общую стоимость программы, требуемый уровень доходности инвестиционной программы.

Необходимым условием решения поставленной задачи является разработка комплекса взаимосвязанных моделей, описывающих объект оптимизации (алгоритмически заданные соотношения между производственной и инвестиционной программой развития компании, а также вектором ее производственно-финансовых показателей).

Надежность и достоверность финансово-экономических показателей инвестиционных проектов и программ во многом зависят от степени адекватности исходной технико-экономической информации реальным условиям их осуществления, методологической обоснованности, алгоритмической и нормативно-правовой корректности проводящихся расчетов, и качества и функциональных возможностей используемого программного обеспечения для создания адекватной решаемой задаче производственно-финансовой модели компании.

Важнейшие требования, которым должна удовлетворять производственно-финансовая модель интегрированной промышленной компании:

– возможность моделирования сложной многостадийной технологической схемы производства и оценки взаимосвязанной совокупности инвестиционных проектов, реализуемых в различных цехах и производствах;

– возможность совместного моделирования инвестиционных программ группы предприятий, входящих в интегрированную компанию, и оценки совокупности инвестиционных проектов;

– возможность моделирования, оценки и сравнения различных вариантов инвестиционных решения в одной производственно-финансовой модели интегрированной компании.

Появление методических рекомендаций по финансово-экономическому анализу и оценке эффективности инвестиционных проектов, возросшие потребности разработчиков и инвесторов в обоснованных методах отбора проектов для финансирования, большое разнообразие аналитических задач, широкое распространение и доступность аппаратных средств послужили толчком к разработке и практическому применению инструментальных средств поддержки инвестиционных расчетов.

Разработано множество программных продуктов, среди которых можно отметить такие, как COMFAR и PROPSPIN, разработанные в UNIDO, а также BizPlan Builder компании JIAN, Business Plan Pro фирмы Palo Alto Software, Smart Business Plan американского института финансовых исследований и др. Однако их практическое использование в условиях российской экономики оказалось затруднено вследствие отличия правовой, налоговой и финансовой систем от аналогичных систем западных стран.

Поэтому в России распространение получили отечественные программные продукты, среди которых следует отметить «Альт-Инвест» компании АЛЬТ, «Project Expert», разработанный компанией PRO-INVEST CONSULTING, «ТЭО-ИНВЕСТ» Института проблем управления РАН, а также «Инвестор» компании ИНЭК и ряд других.

Отметим программный комплекс «ТЭО-ИНВЕСТ», разработанный коллективом авторов Института проблем управления РАН [1], который предоставляет пользователям возможность построения моделей для предприятий, имеющих сложную технологически структуру производства. В методике проведения расчетов «ТЭО-ИНВЕСТ» рассматривается ситуация, когда один или несколько продуктов используются также для производства других продуктов внутри предприятия, т. е. являются полуфабрикатами. Программный комплекс «ТЭО-ИНВЕСТ» – эффективное инструментальное средство для финансового менеджмента на предприятии и в корпорации. «ТЭО-ИНВЕСТ» дает возможность построить имитационную модель предприятия и проводить анализ различных тактических и стратегических решений.

«ТЭО-ИНВЕСТ» позволяет:

– построить финансовую модель действующего или вновь создаваемого предприятия, с помощью которой разрабатывать среднесрочные и долгосрочные производственные и финансовые планы предприятия, проводить сценарный анализ управленческих решений и выбирать наиболее эффективные из них;

– провести анализ и обоснование инвестиционных решений, включая оценку эффективности реорганизации производства, строительства промышленных предприятий и внедрения новых технологий. Провести экспер-

тизу предполагаемых инвестиций, выбрать и обосновать оптимальную схему финансирования проекта;

– обосновать целесообразность направления и способы государственной, отраслевой и региональной поддержки инвестиционных проектов, рассчитать бюджетную эффективность инвестиционного проекта, представляемого на конкурс или тендер;

– разработать финансовые разделы бизнес-планов инвестиционных проектов, включая подготовку пакета форм и графических иллюстраций на русском и английском языках.

Состав основных блоков (модулей) производственно-финансовой модели промышленной компании показан на рис. 1.

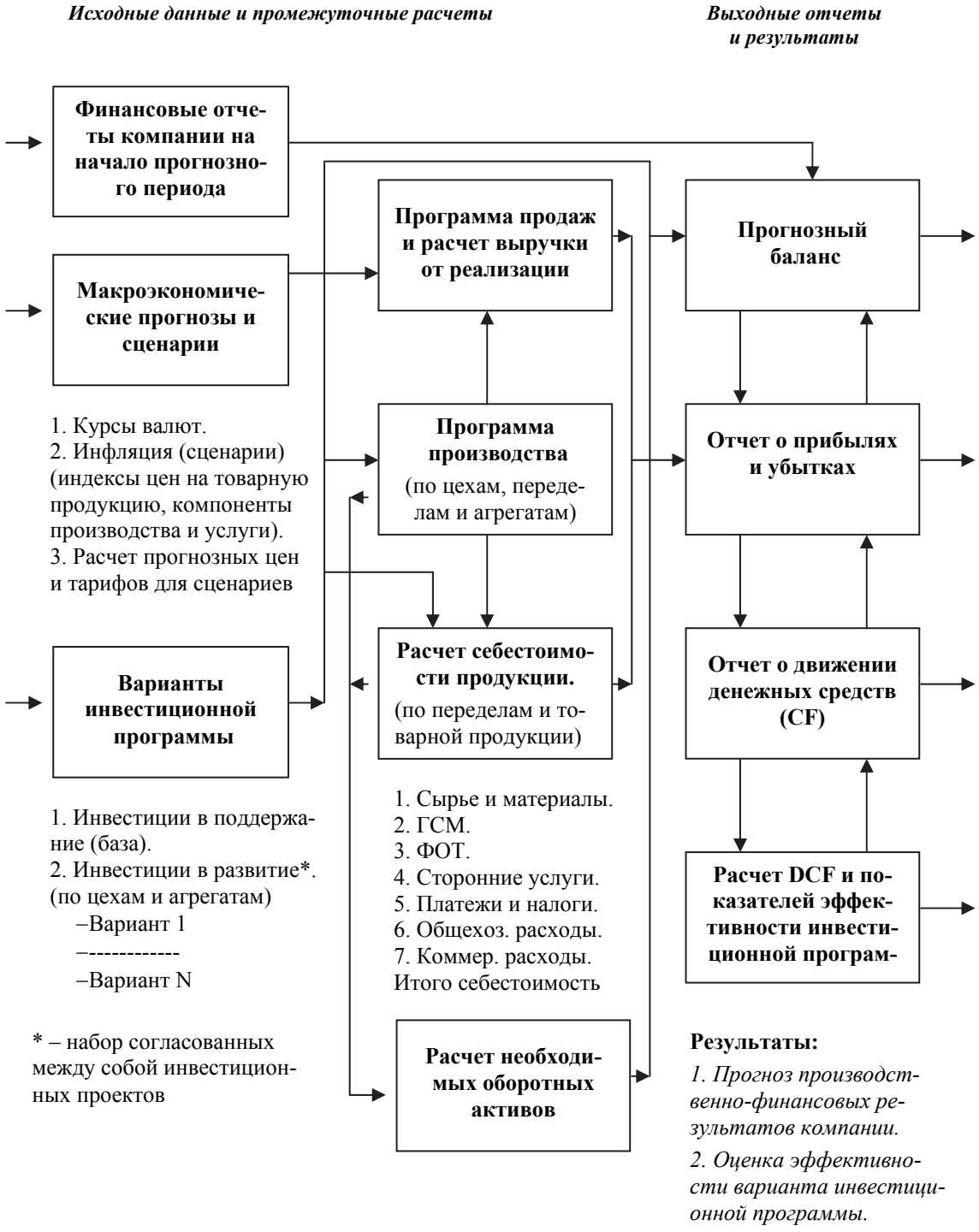


Рис. 1

Проведенный анализ задач показывает, что для их решения необходимо дальнейшее совершенствование методических и инструментальных средств линейки продуктов программного комплекса «ТЭО-ИНВЕСТ». Основное направление развития, по мнению авторов, состоит в построении комплексов взаимосвязанных производственно-финансовых моделей и программных средств, позволяющих учитывать производственную и логистическую структуру производственных процессов распределенных вертикально-интегрированных компаний и взаимовлияние инвестиционных проектов, реализуемых в различных элементах структуры компании. Комплекс взаимосвязанных производственно-финансовых моделей должен также включать два уровня моделей: для компании в целом (консолидирующая модель), а также для каждого структурного элемента компании. Заметим, что, в отличие от случая многопрофильной компании, для вертикально-интегрированных компаний процедуры консолидации усложнены и не сводятся только к суммированию финансовых показателей.

При разработке инвестиционных проектов для группы предприятий или предприятий со сложной внутренней структурой требуется применение многоуровневых моделей. Различные имитационно-оптимизационные модели отвечают задачам, решаемым в отдельных предприятиях (рис. 2). Модели каждого уровня различаются типом решаемых задач (финансово-экономические, технологические) и разной степенью детализации.

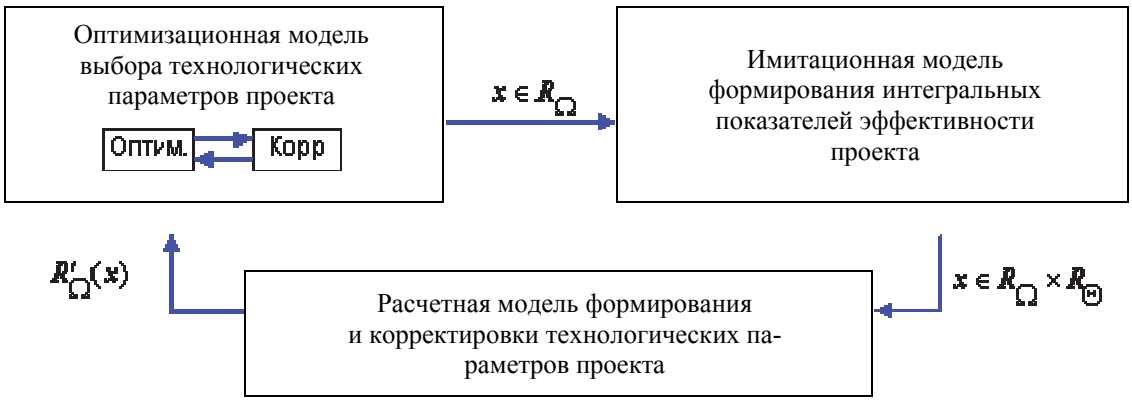


Рис. 2

В общем случае для поиска решений используется имитационно-оптимизационный подход [2–4]. Взаимосвязь оптимизационной и имитационной моделей показана на рис. 2.

Пусть X(t) – исходные данные (внешнее окружение (налоги, инфляция, обязательные платежи), технология производства, программа производства и продажи, инвестиционная программа, производственные издержки, оборотный капитал, финансовые инструменты (кредиты, акции, лизинг, дивиденды)); Y(t) – выходные показатели (экономические, финансовые, бюджетные).

Имитационная модель F(X(t)) позволяет определить Y(t) = F(X(t)). Найденное решение Y*(t), X*(t). На такой модели эффективно используются модели подбора параметров.

Задача оптимизации развития предприятия может быть формализована в виде:

Y(T) -> max,

при условии, что

Y(t) = F(X(t))

$Y(t) \in \overline{Y}(t)$,

$X(t) \in \overline{X}(t)$.

Найденное решение Y**(t), X**(t).

Условия $Y(t) \in \overline{Y}(t)$ и $X(t) \in \overline{X}(t)$ могут задавать дополнительные балансовые и другие ограничения в оптимизационной модели.

Технико-экономическое моделирование предполагает построение комплекса взаимосвязанных оптимизационных, имитационных и расчетных моделей. Каждая модель отвечает своим специфическим задачам, а окончательное решение достигается в процессе преобразования и передачи информации между моделями на основе организации итеративных процедур их взаимодействия.

В зависимости от целевой направленности этапа проектирования, специфики инвестиционного проекта и других факторов на практике могут быть реализованы различные способы построения комплекса моделей, различающие-

ся сочетанием моделей, уровнем их детализации, процедурами генерации вариантов решений, правилами проверки условий и ограничений, а также способами корректировки моделей в процессе итераций.

2. Оптимизационно-имитационный комплекс ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ

Использование разработанных в Институте управления РАН оптимизационно-имитационных методов и программных средств для финансового планирования «ТЭО-ИНВЕСТ» позволяет построить комплекс оптимизационно-имитационных моделей предприятия с учетом различных технологических схем производства продукции и финансовых особенностей его работы.

«ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ» позволяет осуществлять моделирование производственных процессов. «ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ» позволяет построить потоковые схемы работы НПЗ с вычисленными балансами материальных потоков. На построенных потоковых схемах работы НПЗ проверяется допустимость получения заданных объемов отбора нефтепродуктов. При этом могут моделироваться запасы нефтепродуктов. Для эффективной работы НПЗ могут быть заданы различные схемы работы, которые последовательно используются по периодам [1–4].

Полученные в «ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ» потоковые схемы работы НПЗ с вычисленными балансами материальных потоков могут быть использованы для оперативного решения прямой задачи (что можно получить из заданного объема нефти) при фиксированной технологии. Возможно также оперативное решение обратной задачи (сколько нужно нефти и сколько получается других фракций) при фиксированной технологии для получения заданного объема конкретного нефтепродукта или ассортимента нефтепродуктов.

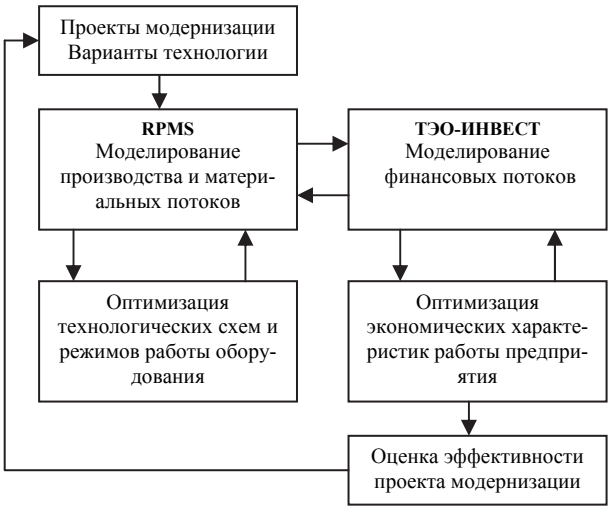


Рис. 3

Моделирование финансовых процессов

Для моделирования финансовых процессов в системе используется программный комплекс «ТЭО-ИНВЕСТ», который позволяет:

– осуществлять бюджетное планирование на предприятии, включая моделирование расходной и доходной частей бюджета; расчет потоков денежных средств и долговых обязательств; управление оборотными средствами и издержками предприятия; оптимизацию структуры выпускаемой продукции с позиций рынка; прогноз структуры баланса предприятия и расчет финансовых показателей;

– проводить комплексную финансовую экспертизу принимаемых управленческих решений, включая оперативный, среднесрочный и стратегический план основных финансово-экономических показателей деятельности предприятия (на текущий месяц, квартал, год) с учетом сложившейся структуры дебиторской и кредиторской задолженности, состояния капитала и фондов предприятия, тенденций основных влияющих факторов, экспертных предположений и т. д.

Оптимизация

Осуществить многовариантные сценарные и оптимизационные расчеты финансового баланса предприятия на перспективный период при различных значениях управляющих параметров (сценариях).

«ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ» позволяет рассчитать производственную программу НПЗ (на интервал более декады) формируя имитационные модели и задачи математического (линейного) программирования. В качестве критерия оптимизации используется маржинальная прибыль (товарный выпуск продукции НПЗ минус затраты на сырье, минус переменные производственные затраты).

Если для отдельных блоков потоковой схемы завода могут быть использованы различные режимы (например, при различных объемах перерабатываемого продукта), то может быть поставлена задача линейного программирования на маржинальную прибыль (RPMS или Excel).

Рассматриваемая задача, для заданного периода планирования и заданного набора техно-

логий, которые могут быть использованы на рассматриваемом интервале, имеет малую размерность, равную числу различных схем, которые используются на данном интервале. Поскольку задача имеет малую размерность, она легко может быть решена с помощью стандартного пакета оптимизации (например, модуля «Поиск решений», входящего в Excel).

«ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ» позволяет в процессе проведения расчетов учитывать ограничения на материальные потоки, связанные с технологией производства; при заданном составе сырья и материалов определить объемы получаемых выходных продуктов при использовании различных технологий; при исследовании вариантов расширения нефтеперерабатывающего предприятия программный комплекс «ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ» позволяет определить, какие технологии (комбинации блоков и какие производственные мощности) дадут максимальный доход.

Результаты расчетов представляются в виде набора табличных и графических отчетов. Программные средства обеспечивают возможность сравнения результатов, полученных при разных сценариях.

Использование «ТЭО-ИНВЕСТ» совместно с системой RPMS

Система RPMS предназначена для производственного планирования нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. Система позволяет детально учитывать технологию производства продукции на предприятии и формирует производственный план его работы на базе сформированной в системе производственно-технологической модели предприятия.

Использование «ТЭО-ИНВЕСТ» совместно с системой RPMS позволяет решать задачу финансово-экономического анализа сформированных производственных планов, а также оценки эффективности инвестиционных программ развития и реконструкции предприятий. Программа реконструкции может состоять из набора инвестиционных проектов, каждый из которых приводит к изменению производственно-технологической модели предприятия. Если последовательно реализуется N проектов, то в результате происходит изменение модели предприятия (Модель 1, …, Модель N)

На первом этапе, с использованием системы RPMS, проводится серия расчетов оптимальной производственной программы предприятия для каждой из моделей (Модель 1, …, Модель N).

На втором этапе расчеты проводятся в системе «ТЭО-ИНВЕСТ». Для каждого проведенного расчета из RPMS в «ТЭО-ИНВЕСТ» передается следующая информация:

– номенклатура выпускаемой продукции предприятия;

– номенклатура сырья, ТЭР и материалов, используемых в производстве;

– объемы выпуска (продаж) по каждой позиции номенклатуры выпускаемой продукции в натуральном выражении;

– цена реализации продукции (без налогов);

– затраты по каждой позиции номенклатуры сырья, ТЭР и материалов в натуральном и денежном выражении.

Кроме этого указываются моменты времени переключения производственно-технологической модели предприятия с Модели 1 на Модель 2, с Модели 2 на Модель 3 и т. д. Заметим, что моменты переключения связаны с реализацией инвестиционных проектов, предусмотренных инвестиционной программой реконструкции производства на предприятии.

Передача этой и другой необходимой информации в систему «ТЭО-ИНВЕСТ» происходит автоматически с использованием специального интерфейсного файла в формате XML, формируемого программой R-Briv из системы «RPMS» (рис. 4). Специальная процедура обработает XML-файл и, в соответствии с хранящимися в нем данными, настроит систему «ТЭО-ИНВЕСТ» на расчет и введет необходимые исходные данные.

Кроме автоматически введенных данных из системы «RPMS» пользователем дополнительно вносятся в соответствующие таблицы ТЭО-ИНВЕСТ следующие исходные данные:

– по планируемой инвестиционной программе на предприятии;

– структуре производственных издержек;

– схеме финансирования инвестиционной программы (собственные средства, государственные субсидии, кредиты и т. п.).

Выбор соответствующих пунктов меню позволяет осуществлять ввод информации, пересчет и просмотр входных и выходных таблиц и графической информации.

Расчет экономической эффективности инвестиционной программы в «ТЭО-ИНВЕСТ» осуществляется методом оценки приращений. При этом последовательно проводится два расчета: расчет денежного потока предприятия без учета реализации инвестиционного проекта (Шаг 1) и с учетом реализации инвестиционного проекта (Шаг 2).

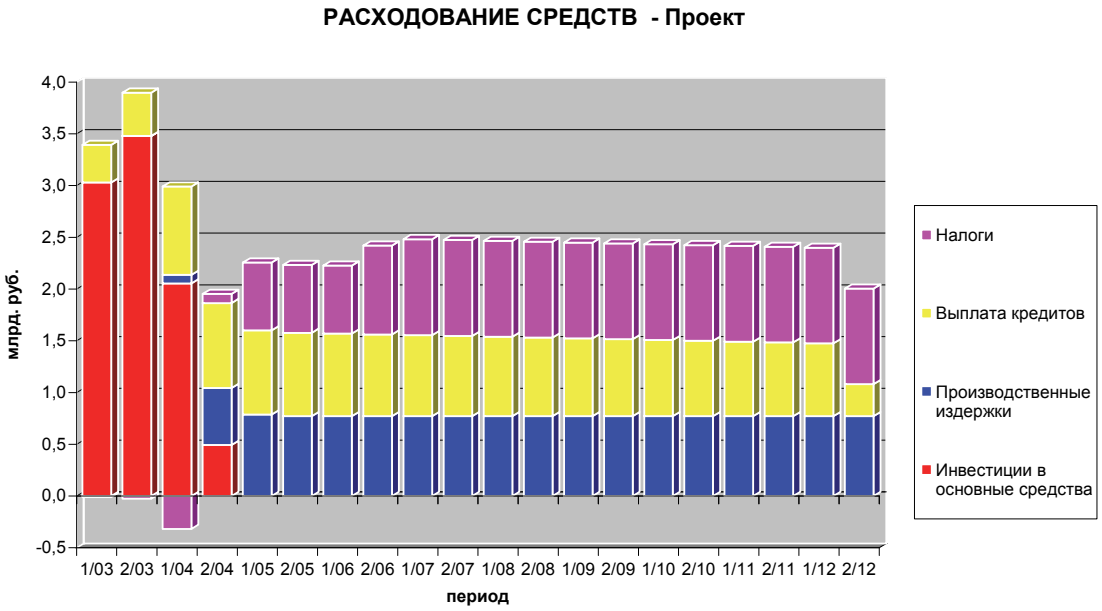


Рис. 4

На основе этой информации автоматически рассчитываются все изменения по составляющим потока денежных средств, характеризующих работу предприятия и связанных с внедрением инвестиционной программы, в том числе изменение в выплатах налогов (на прибыль, НДС и других), начисления амортизации и др. Кроме этого, в зависимости от схемы финансирования программы рассчитывается потребность в денежных средствах по периодам ее реализации.

В результате расчетов формируются показатели эффективности проекта, в том числе NPV, IRR, PI, позволяющие обосновать решение о финансировании программы реконструкции НПЗ.

3. Пример

Рассмотрим пример оценки и выбора варианта осуществления инвестиционного проекта реконструкции нефтеперерабатывающего завода.

До начала осуществления инвестиционного проекта в состав НПЗ входили следующие установки: ЭЛОУ-АВТ мощностью по сырью 7,37 млн. т/год, гидроочистки бензиновых и дизельных фракций (мощностью 1,5 и 0,62 млн. т соответственно), висбрекинга (1,85 млн. т/год), производства водорода (55 тыс. т/год), производства серы (37 тыс. т/год). НПЗ закупает нефть, которая проходит обессоливание на установке ЭЛОУ и поступает на первичную перегонку на АВТ.

В рамках реализации программы развития НПЗ, целью которой является углубление переработки нефти и производства более ценных конечных продуктов (высокооктановых бензинов), предполагается построить ряд установок технологической цепочки каталитического крекинга, а также установку по производству битума.

Инвестиционный проект предусматривает строительство восьми новых установок: каталитического крекинга (мощностью 1,5 млн. т), гидроочистки сырья каталитического крекинга (мощностью до 2 млн. т/год), гидроочистки нафты, производства МТБЭ, алкилирования и дополнительно по одной установке производства элементарной серы и получения водорода, а также битумной годовой производительностью в 315 тыс. тонн. Ввод этих мощностей позволит выпускать высокооктановые бензины А-76, АИ-92, АИ-95, АИ-98, пропан-пропиленовую фракцию и некоторые другие продукты за счет снижения выпуска мазута; удвоить объем производства экспортного дизтоплива и довести глубину переработки сырья до 69 %.

Временной период анализа проекта составляет 10 лет с шагом расчета полгода. Инвестиционная фаза длится 2 года и включает два этапа – в первые 1,5 года осваивается основной объем капиталовложений и к началу 4-го полугодия осуществляется пуск установок на 50 % мощности. Второй этап инвестиционной фазы включает проведение пусконаладочных работ и вывод установок на 100 %-ю проектную мощность.

Результаты расчета эффективности проекта

Для оценки инвестиционного проекта на действующем предприятии (проект реконструкции НПЗ) проведены расчеты с целью их сравнения и выделения денежных потоков (финансовых эффектов), характеризующих инвестиционный проект, а именно:

расчет предприятия без осуществления проекта (базовый расчет);

расчет предприятия с учетом реализации проекта.

При этом в ПК «ТЭО-ИНВЕСТ» используется тип расчета «Расчет проекта для действующего предприятия». Данный тип расчета требует учета начального состояния (начального баланса). Расчет экономической эффективности инвестиционного проекта осуществляется методом оценки приращений. Оценка приращений производится в ПК «ТЭО-ИНВЕСТ» автоматически в результате сравнения проведенных расчетов.

Проектный баланс рассчитывает статьи агрегированного баланса, позволяющие проанализировать финансовое положение НПЗ и его изменение в расчетных периодах. Динамика активной и пассивной частей баланса отображена графически на рис. 5 и 6 соответственно.

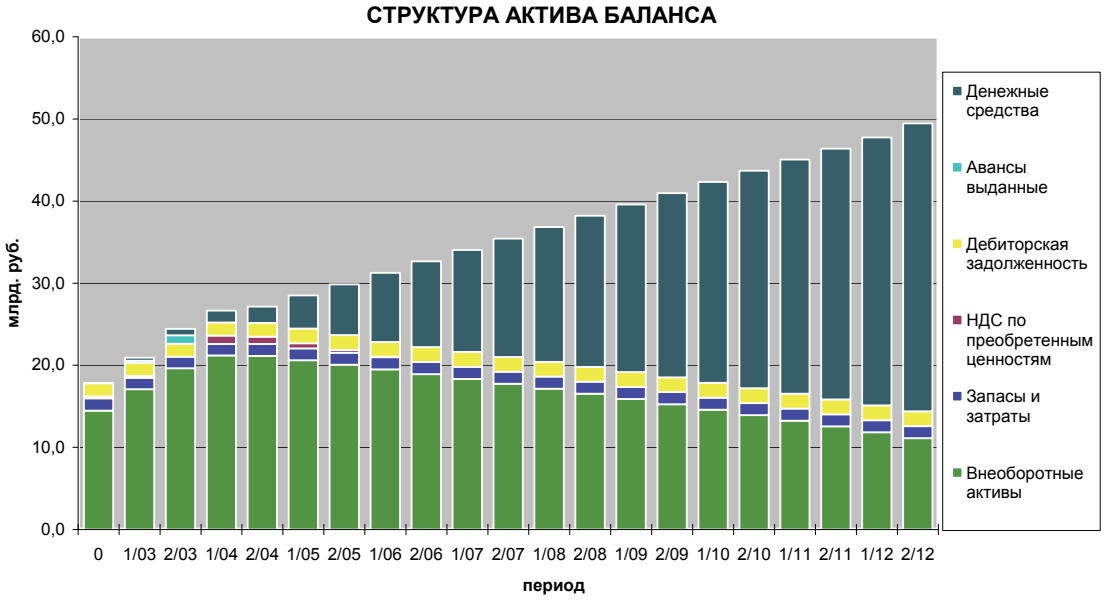


Рис. 5

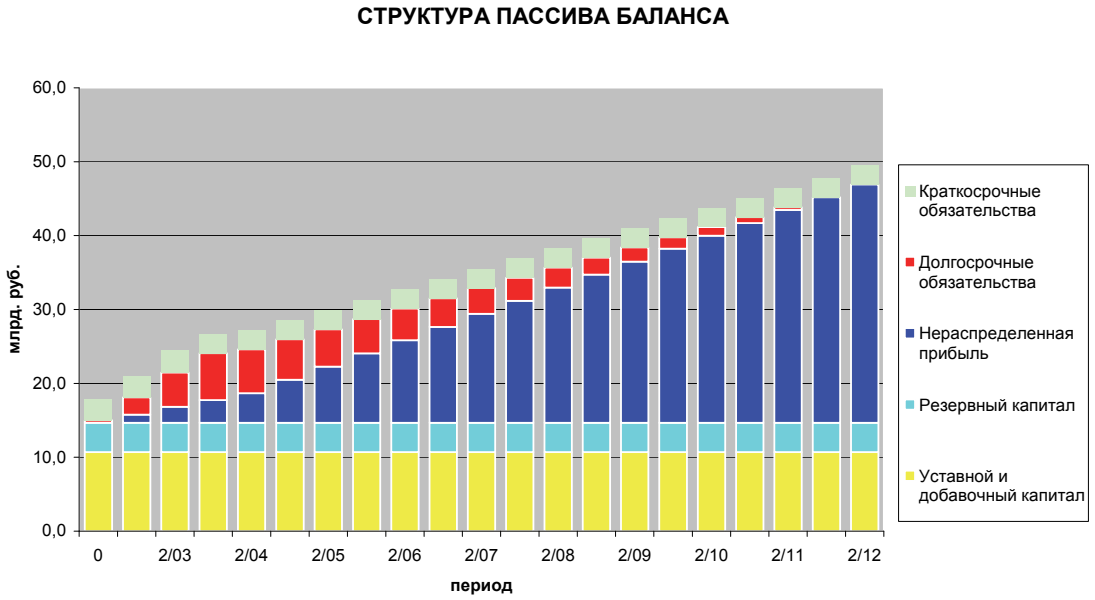


Рис. 6

По проекту период окупаемости с учетом дисконтирования денежных потоков составляет 8,6 для инвестированного и 5,2 года – для собственного капитала.

Чистый дисконтированный доход характеризует превышение суммарных денежных поступлений, связанных с реализацией инвестиционного проекта, над суммарными затратами на него и вычисляется как сумма дисконтированного потока чистых платежей на расчетном промежутке времени Т, который для проекта равен 10 лет.

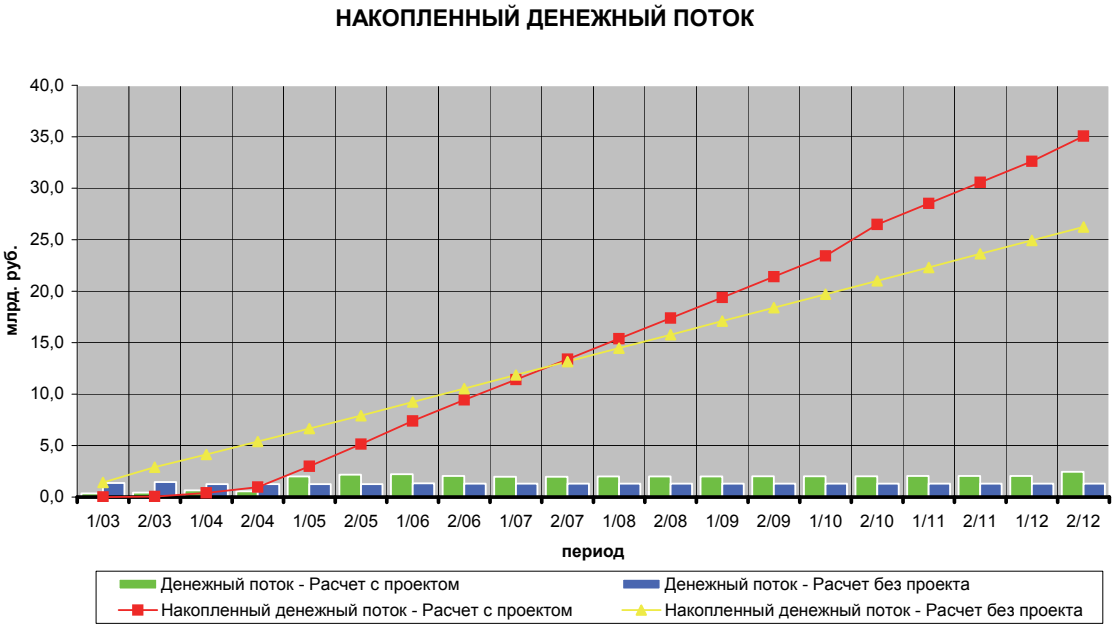


Рис. 7

В расчетах учтены денежные потоки в постпрогнозный период. Модель Гордона позволяет получить грубую оценку суммы дисконтированных денежных потоков, которые ожидаются в постпрогнозный период.

Предложенный подход, модели и методы используются на практике, в частности, ЗАО «Хоневелл» при разработке технико-экономических обоснований и бизнес-планов инвестиционных проектов и программ развития и реконструкции предприятий нефтеперерабатывающих и нефтехимических отраслей промышленности [4].

Данный подход позволяет построить комплекс оптимизационно-имитационных моделей предприятия с учетом различных технологических схем производства продукции и финансовых особенностей его работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Цвиркун, А. Д.* Анализ инвестиций и бизнес-план: Методы и инструментальные средства / А. Д. Цвиркун, В. К. Акинфиев. – М.: Издательство «Ось-89», 2002. – 288 с.

2. *Акинфиев, В. К.* Управление развитием интегрированных промышленных компаний: теория и практика (на примере черной металлургии) / В. К. Акинфиев. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 224 с.

3. *Цвиркун, А. Д.* Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем (оптимизационно-имитационный подход) / А. Д. Цвиркун, В. К. Акинфиев, В. А. Филиппов. – М. Наука, 1985.

4. *Соркин, Л. Р.* Методология разработки крупномасштабных проектов развития предприятий нефтепереработки / Л. Р. Соркин // Управление развитием крупномасштабных систем / под ред. проф. А. Д. Цвиркуна. – М.: Физматлит. – 2012. – С. 313–331.

УДК 681.518.5

В. С. Богданов, С. В. Богданов

ИНВАРИАНТЫ И ТЕНЗОРНЫЕ ИНВАРИАНТЫ СЕТЕЙ

Волгоградский государственный технический университет
Bogdanov-vik-tor@yandex.ru

На протяжении последних двадцати лет вновь просыпается интерес к тензорным методам расчета сложных систем, в том числе и компьютерных сетей. В основе этих методов лежит использование инвариантных свойств объектов и сетей. В силу плохой освещенности данного вопроса, в статье проведен обзор описанных в доступной литературе на сегодняшний день инвариантов и тензорных инвариантов компьютерных сетей.

Ключевые слова: теория инвариантности, инварианты, инварианты сетей, тензорные инварианты сетей, тензорный анализ сетей, Габриэль Крон.

V. S. Bogdanov, S. V. Bogdanov

NET INVARIANTS AND TENSOR INVARIANTS

Volgograd State Technical University

In duration last 20 year, we can see how awaking an interest to methods tensor computation of complicated systems, including computer nets. At the heart of these methods they have using invariant properties of objects and nets. In this article we now give a review of utilization net invariants and tensor invariants of computer nets that are known in accessible literature.

Keywords: invariants, invariant theory, net invariants, net tensor invariants, tensor analysis of networks, Kron Gabriel.

Термин «инвариантность» имеет очень большую смысловую перегрузку. Под *инвариантностью*, в самом общем случае, понимается неизменность и независимость чего-то от происходящих изменений другого чего-то, влияющего на наш объект рассмотрения [3]. Инварианты – это величины, характеризующие параметры объекта, остающиеся неизменными при изменениях внешней среды объекта и внутренних изменениях объекта. Инварианты могут быть как простыми величинами (например, напряжение стабилизации стабилитрона), так и сложными вычислимыми функциями, включающими в свой состав несколько величин.

Если придерживаться общепринятого строгого определения инвариантов, то согласно БСЭ [1], инварианты (*от лат. invariant, род. пад. invariantis – неизменяющийся*) – числа, алгебраические выражения и другие математические сущности, характеризующие рассматриваемый объект и остающиеся неизменными при преобразованиях этого объекта или системы отсчета, в которой описывается данный объект [1]. Если для этого объекта выражение для параметра $f(x_1, x_2, ..., x_n)$ не зависит от системы отсчета, т. е. выполняется соотношение $f(x_1, x_2,..., x_n) = f(x'_1, x'_2,..., x'_n)$, то такой параметр и ему подобные называются *инвариантами* [1].

В [12] дано следующее определение тензорных инвариантов: инварианты – скалярные функции тензорных переменных, независимые от выбора координатной системы.

Теория инвариантов зародилась в первой половине 18-го века и особенно сильное развитие получила в его второй половине. Окончательное ее завершение (в рамках актуальных задач того времени) было осуществлено Д. Гильбертом в конце 19-го века [11]. В то время основной интерес математиков был прикован к линейным формам. Системы таких форм рассматривались как целые рациональные функции от коэффициентов этих форм. Поэтому изучению подвергались целые рациональные инварианты, каждый из которых выражается через эти функции. Тогда рассматривались инварианты двух видов – алгебраические и проективные инварианты. Эта теория была тесно связана с теорией представлений математических групп [3]. Группы ортогональных преобразований рассматриваются в евклидовой геометрии, изометрических преобразований – в изометрической геометрии, аффинных преобразований – в аффинной геометрии, проективных преобразований – в проективной геометрии, дифференциальных преобразований – в дифференциальной геометрии, топологических преобразований – в топологии. У каждой такой группы преобразований имеются свои специфические инварианты.

А. Эйнштейн назвал эти инвариантные величины «тензорами», а Схоутен – «геометрическими объектами». Все три понятия – «тензор», «инвариант» и «геометрический объект» – могут рассматриваться как синонимы [5]. Для описа-

ния объектов при использовании тензорного метода применяются тензоры-объекты и тензоры преобразования. Тензор преобразования (соединения) – посредник между двумя системами координат. Так как такого объекта, как «система координат» в природе нет, то это понятие вводится для облегчения описания объекта. Тензор соединения, таким образом, служит для установления связи между двумя или несколькими различными способами описания одного и того же объекта. При описании одного и того же объекта тензором и матрицей, между такими описаниями имеются различия. Матричное описание характеризует фиксированное значение объекта для выбранного момента времени, а тензорное – позволяет получить описание объекта для всех моментов времени и, следовательно, является более общим [5]. Поэтому матрица, описывающая объект, сама не является инвариантным объектом. Часто при решении практических задач встречаются случаи, когда приходится производить большое количество однотипных вычислений применительно ко многим схожим объектам (типичная ситуация для компьютерных сетей). Поэтому применение тензорных методов приводит к сокращению объема вычислений, позволяет эффективно использовать компьютерные методы, и запись производимых манипуляций становится наиболее краткой и наглядной.

После своего создания теория инвариантов стала применяться в геометрии, алгебре, топологии, теории групп, теории чисел и других разделах математики. Затем она стала использоваться в технике и прикладных дисциплинах.

Следует отметить, что инварианты не могут существовать сами по себе, без соответствующего носителя. Он может быть назван инвариантным объектом. Различные объекты исследования имеют ряд параметров (характеристик, величин). Все параметры объекта не могут и не должны быть инвариантами, так как часть этих параметров изменяется при изменениях окружающей среды, а другая часть нет. Объекты, носители инвариантных величин, могут выступать в роли источников воздействий (напряжение на выходе микросхемы) или сами подвергаться воздействию со стороны других объектов и окружающей среды, или испытывать воздействие процессов, протекающих внутри объекта (разряд внутренней батареи питания и т. п.). Инварианты могут быть строгими и нестрогими, т. е. инвариантами с неточностью, когда изменение соответствующей величины не превышает заданного допуска на ее номинальное значение. Инварианты могут быть простыми параметрами, а могут определяться из формулы, связывающей функциональной зависимостью несколько переменных. Так как параметры объектов в реальном мире не могут постоянно оставаться неизменными, то для реальных объектов интервал времени сохранения инвариантных свойств объекта должен быть не менее времени его эксплуатации, т. е. объект – это носитель своих свойств, для которого некоторые параметры могут быть инвариантами. Инвариантные свойства объектов могут проявляться в любых системах – технических, социальных, биологических, химических и т. д.

Рассмотрим примеры некоторых инвариантов, используемых в разных областях науки и техники. В физике под инвариантностью, прежде всего, понимаются различные законы сохранения – закон сохранения энергии, массы, заряда (и т. п.); в социальной сфере – равенство всех перед законом. В теории автоматического управления (ТАУ) под инвариантными системами подразумеваются системы, выходная координата которых не зависит от воздействия помех, т. е. выходной вектор здесь – инвариантен относительно вектора помех [13]. Как видно из вышеизложенного, инвариантные системы, рассматриваемые в ТАУ, являются частным случаем систем, использующих свойства инвариантов. В динамических системах инвариантами называют характеристики, остающиеся неизменными при допустимых преобразованиях этих систем [5]. В биологии нормальная температура человеческого тела – инвариант. В математике инвариантом называется все то, что остается неизменным при некоторых преобразованиях математических объектов (так, длина вектора инвариантна к ортогональным преобразованиям декартовой системы координат), в лингвистике – абстрактная неизменная структурная единица языка (фонема, морфема, граммема, лексема и т. п.) и так далее, до бесконечности.

Примеры используемых инвариантов в конкретных технических приложениях: скалярное произведение двух векторов или тензоров; длина вектора; собственные числа матриц; ранг системы векторов; аффинное преобразование, переводящее эллипсы в эллипсы и сохраняющее отношение длин и площадей (эти отношения являются его инвариантами); мощность,

развиваемая силой; работа, производимая силой; первые интегралы уравнений движения небесных тел (например, полукубический и секториальный инварианты; масса тела в нерелятивистких условиях и т. п.) Ранг системы векторов является инвариантом по отношению к произвольному линейному преобразованию пространства. Дискриминант квадратного уравнения не меняет знака при линейной замене переменной. Количество информации, кибернетическая мощность – также инварианты.

Общая идея применения теории инвариантов при решении прикладных задач состоит в том, что необходимо описать группу допустимых преобразований нужных величин рассматриваемой задачи и отыскать ее инварианты [3]. Исследования дифференциальных инвариантов в области дифференциальной топологии привели к появлению тензорного исчисления и, в дальнейшем, тензорного анализа [14]. Принципы тензорного исчисления и использование инвариантов помогли Габриэлю Крону создать дискретный тензорный анализ сетей и науку диакоптику [3].

При проведении векторных и тензорных методов расчета наибольший интерес представляют именно инварианты – величины, не изменяющиеся при преобразованиях системы координат. Каждое открытие нового инварианта всегда было событием в науке. В инвариантной записи уравнений отсутствует в явной форме указание на размерность используемого пространства. Объекты и сети, составленные из совокупности своих элементов, характеризуются составом частей, входящих в сеть, параметрами этих частей и структурой сети. При изменении параметров объектов сеть с измененными параметрами легко пересчитывается многими существующими методами. При замене объектов на другие в расчетных формулах изменяются лишь числовые значения констант и переменных, и расчет системы после изменения остается тривиальным. При изменении же структуры сетей меняется число переменных величии, и меняются уравнения (в том числе и их количество), описывающие систему. Поэтому приходится осуществлять новую постановку задачи, составлять математическое описание новой системы и затем заново производить решение модифицированной задачи. А. Е. Петров указал, что «на сегодня не существует математических теорий и методов расчета «изменений процессов при изменении структур, кроме тензорных методов» [5]. Габриэль Крон в свое время предложил метод расчета сетей, который позволил использовать ранее неизвестные инвариантные свойства этих сетей [2]. Предложенный им метод позволил рассчитывать сети в самом общем случае – при одновременном изменении как параметров, так и структуры сети. Его метод основывался на инвариантности значения мгновенной мощности сети. В нормально работающей сети, количество входящей в нее в единицу времени информации равно количеству выходящей. Подход Крона основан на линейных свойствах преобразования сетей и на том, что вся совокупность получаемых сетей при их преобразованиях образует группу, для которой величина мощности постоянна для всех структурных и параметрических преобразований. В общем случае, состав задач инвариантов определяется как составом исследуемых объектов, так и составом используемых преобразований над множеством элементов, где каждое из преобразований представляет собой группу [8]. Инварианты компьютерной сети определяют ее свойства, не зависящие от ее частной конфигурации – структурной и параметрической. Тензорные инварианты сетей – инвариантные величины, имеющие тензорную природу.

Выявление инвариантов сетей может быть проведено следующим образом. Выявляются параметры и переменные, которые могут влиять на объекты сетей, связи между ними и процессы, протекающие в сетях. Для сети с резиновой топологией инвариантами будут: количество узлов в сети; количество ветвей в сети, сумма узлов и ветвей в сети; равенство входящих и выходящих информационных потоков и др. Так, равенство входящих и исходящих информационных потоков, распространяющихся в сети, удобно рассматривать в виде информационных мощностей. В нормально работающих сетях, предназначенных для передачи информации, суммарное количество входящей и исходящей информации должно быть одинаковым:

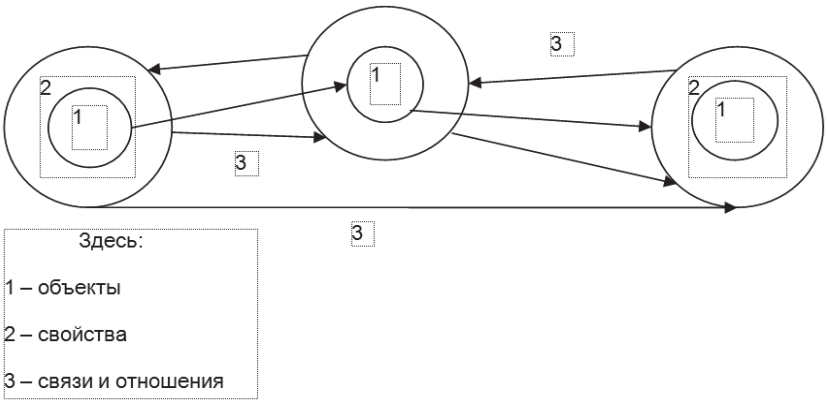
$$W_{\text{вх}} = W_{\text{исх}}.$$

Как в электрических, так и в информационных сетях, сумма мощностей в прямой и ортогональной сетях будет инвариантом [5].

По отношениию к компьютерным сетям, инвариантность может присутствовать и применяться в следующих ситуациях, местах и про-

цессах: в особенностях путей передачи пакетов; содержания пакетов; топологии сетей; параметров сетей (свойства тензоров и др.); в инвариантности характеристик статистического распределения информации; в инвариантности свойств тензорного описания сетей; в постоянстве информационной мощности в цепи передачи данных; в устранении помех, возникающих в сетях передачи данных; для осуществления эффективной балансировки трафика; для осуществления получения оптимальных временных характеристик при передаче трафика; для устранения петель в топологии сетей; для повышения эффективности анализа трафика на основе корреляции сигналов, передающимся по двум путям, при дуплексной схеме передачи информации; билинговые системы, инвариантные к виду трафика.

Инвариантность объекта или системы может рассматриваться как их способность нормально функционировать при изменении целого спектра внешних и внутренних условий и дестабилизирующих факторов в широком диапазоне. Инвариантами обычно являются попарные произведения последовательных и параллельных переменных [5]. Такие инварианты являются законами сохранения. Таким образом, изучение любой системы, с какой бы целью оно не проводилось (анализ, моделирование, управление, редукция), следует начинать с отыскания ее инвариантов.



Взаимосвязь носителей инвариантов

Инварианты могут выступать в качестве: объектов; параметров объектов; процессов; параметров процессов; неизменность свойств системы относительно времени неизменность: массы золотого слитка с течением времени, частоты цезиевого эталона времени, коэффициента усиления усилителя напряжения); неизменность свойств системы при ее тиражировании; неизменность свойств системы при изменении ее топологии; результата взаимодействия чего-то с чем-то; функций, зависимостей между переменными (в частности, отношения или суммы двух величин) и т. п.

Так как развитие сетей, в том числе компьютерных сетей связи, неуклонно движется в сторону увеличения их мобильности и учащения случаев изменений их параметров и структуры, то очевидно, что, несмотря на существующие трудности, проводить расчет таких сетей все равно приходится и придется. В настоящее время тензорный метод расчета сетей – пока что единственный метод, отвечающий почти всем предъявляемым к нему требованиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Большая советская энциклопедия [Электронный ресурс]. – 2013 – Режим доступа: http://dic.academic.ru/contents.nsf/bse/

2. *Крон, Г.* Тензорный анализ сетей : пер. с англ. / Г. Крон; под ред. Л. Т. Кузина, П. Г. Кузнецова. – М.: Сов. Радио, 1978. – 720 с.

3. *Мироновский, Л. А.* Инварианты математических моделей : Текст лекций / Л. А. Мироновский ; ЛИАП. – Л., 1991. – 32 с.: ил.

4. *Спенсер, Э.* Теория инвариантов / Э. Спенсер ; пер. с англ. А. И. Державиной ; под ред. В. В Лохина. – М.: Мир, 1974. – 158 с.

5. *Петров, А. Е.* Тензорный метод двойственных сетей / А. Е. Петров. – М.: Центр информационных технологий в природопользовании, 2007. – 496 с.: ил.

6. *Попков, В. В.* Концепция двойственности и устойчивое развитие / В. В. Попков // Четвертая Всероссийская конференция по проблемам эконофизики и эволюционной экономики, 21–30.11.2006 г. Тема конференции – «Устойчивое развитие и целостность экономических систем».

7. *Гуревич, Г. Б.* Основы теории алгебраических инвариантов / Г. Б. Гуревич. – М.-Л.: Гостехиздат, 1948. – 408 с.

8. *Вейль, Герман.* Классические группы, их инварианты и представления; пер. с англ. / Герман, Вейль. – М.: Гос. изд-во иностр. лит., 1947. – 404 с.

9. *Спрингер, Т.* Теория инвариантов / Т. Спрингер. – М.: Мир, 1981. – 191 с.

10. *Крафт, Х.* Геометрические методы в теории инвариантов / Х. Крафт. – М: Мир, 1987. – 312 с.

11. Theory of algebraic invariants / *David Hilbert*; translated by Reinhard C. Laubenbacher; edited and with an introduction by Bernd Sturmfels. English translation Cambridge University Press 1993. Includes bibliographical references. Printed in the United States of America. Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge. – P. 191.

12. *Daniel B. Ennis* and *Gordon Kindlmann*. Orthogonal Tensor Invariants and the Analysis of Diffusion Tensor Magnetic Resonance Images. Magnetic Resonance in Medicine 55:136-146 (2006).

13. *Менский, Б. М.* Принцип инвариантности в автоматическом регулировании и управлении / Б. М. Менский. – М.: Машиностроение, 1972. – 248с.: ил.

14. *Петров, А. Е.* Тензорная методология в теории систем / А. Е. Петров. – М.: Радио и связь, 1985. – 152 с.

УДК 66-93

А. Б. Голованчиков, Н. А. Дулькина, Ю. В. Аристова, Н. Н. Дикарева

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА С ДИФФУЗИОННОЙ СТРУКТУРОЙ ПОТОКА ДЛЯ РЕАКЦИИ *n*-го ПОРЯДКА

Волгоградский государственный технический университет

pahp@vstu.ru

Предлагается описывать распределение молекул по времени пребывания в химическом реакторе *n*-ого порядка однопараметрической диффузионной моделью с различными структурами потоков по исходному компоненту и продукту реакции. Разработан алгоритм и проведены расчеты для предлагаемой двухкомпонентной диффузионной модели с градиентными граничными условиями.

Проведено сравнение с расчетами по типовой диффузионной модели с безградиентными граничными условиями на выходе из реактора.

Ключевые слова: двухкомпонентная диффузионная структура потоков, химический реактор, число Пекле, моделирование, градиентное граничное условие.

A. B. Golovanchikov, N. A. Dylkina, U. V. Aristova, N. N. Dikareva

MATHEMATICAL MODELING OF CHEMICAL REACTORS WITH THE DIFFUSION OF THE FLOW STRUCTURE FOR THE REACTION OF N-TH ORDER

Volgograd State Technical University

It is proposed to describe the distribution of molecular residence time in the chemical reactor *n*-th order-parameter diffusion model with different structures on the initial flow component and the reaction product. An algorithm and calculations for the proposed two-component diffusion model with linear boundary conditions.

A comparison with calculations based on the model of the diffusion model-gradient boundary conditions at the outlet of the reactor.

Keywords: two-component structure of the diffusion fluxes, chemical reactor, the Peclet number, modeling, gradient boundary condition.

Рассмотрим процесс протекания реакции *n*-ого порядка со стехиометрическим уравнением

$$nA \xrightarrow{k} B$$

и кинетическим уравнением

$$W(C_A) = -kC_A^n$$

в химическом реакторе с диффузионной структурой потока. Математическая модель такого реактора записывается в виде [1, 2]

$$\frac{1}{Pe}\cdot\frac{d^2c_a}{dx^2} = \frac{dc_a}{dx} + k\cdot\tau\cdot C_{A0}^{n-1}\cdot c_a^n, \qquad (1)$$

где $c_a = C_A / C_{Ao}$ – безразмерная концентрация исходного компонента А; C_A и C_{Ao} – соответственно текущая и начальная размерные концентрации компонента А, кмоль/м^3; Pe – число Пекле продольной диффузии; $x=X/L$ – безразмерная координата длины реактора; X и L – соответственно текущая координата длины и длина реактора, м; k – константа скорости реакции, с$^{-1}$; n – порядок реакции; τ – среднее время пребывания, с.

Дифференциальное неоднородное уравнение (1) II порядка для типовой диффузионной модели структуры потоков в настоящее время решается при следующих граничных условиях:

при $x=0$ $$1 = c_{ан} - \frac{1}{Pe}\left(\frac{dc_a}{dx}\right)_{x=0}; \qquad (2)$$

при $x=1$ $$\left(\frac{dc_a}{dx}\right)_{x=1} = 0. \qquad (3)$$

Первое граничное условие (2) выводbтся аналитически на основании материального баланса на входе в реактор, а второе, так называемое безградиентное граничное условие, яв-

ляется приближенным, так как оно справедливо для реакторов идеального смешения Pe $\to 0$ ($D_l \to \infty$, где $-D_l-$ коэффициент продольной диффузии), или при больших значениях произведение параметров $k\tau$, когда степень конверсии $\chi \to 1$[3÷5].

Выведем аналитически градиентное граничное условие для дифференциального уравнения (1) на выходе из реактора.

Обозначим градиент концентрации компонента А $g_a = \dfrac{dc_a}{dx}$ и, проинтегрировав левую и правую часть уравнения (1) в пределах $0 \le x \le 1$, получаем выражение:

$$\frac{1}{Pe}\left(g_{ak} - g_{ан}\right) = c_{ak} - c_{ан} + k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \int_0^1 c_a^n \cdot dx.$$

Сгруппируем члены последнего уравнения следующим образом:

$$c_{ан} - \frac{1}{Pe} g_{ан} = c_{ak} - \frac{1}{Pe} g_{ak} + k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \int_0^1 c_a^n \cdot dx.$$

Так как левая часть равенства равна единице (2), то получаем равенство единице для правой части

$$c_{ak} - \frac{1}{Pe} g_{ak} + k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \int_0^1 c_a^n \cdot dx = 1. \qquad (4)$$

Представим уравнение (1) в численном виде:

$$\frac{1}{Pe}\left(g_{ai} - g_{ai-1}\right) = c_{ai} - c_{ai-1} + k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \Delta x c_{ai-1}^n.$$

Тогда градиент концентрации для i-й итерации может быть записан в виде:

$$g_{ai} = g_{ai-1} + \left(c_{ai} - c_{ai-1}\right) Pe \cdot + ,$$
$$+ k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \cdot Pe\left(\Delta x\right) c_{ai}^n, \quad (5)$$

а концентрация:

$$c_{ai} = c_{ai-1} + g_{ai-1} \Delta x, , \qquad (6)$$

где $\Delta x = 1/m$, а m – число интераций по длине реактора.

Алгоритм расчета дифференциального уравнения (1) с градиентными граничными условиями и численными уравнениями (5) и (6) может быть следующим:

1. Задаемся относительной начальной концентрацией $c_{ан}$ в пределах $c_{ac} < c_{ан} < 1$, где c_{ac} – безразмерная концентрация в реакторе идеального смешения (РИС), которая определяется из решения математической модели

РИС [6] $\qquad \tau = \dfrac{1 - c_{ac}}{k C_{Ao}^{n-1} c_{ac}^n}.$

2. Из граничного условия (2) определяем градиент $g_{ан} = \left(c_{ан} - 1\right) Pe.$

3. Обозначаем $c_{ai-1} = c_{ан}$ и $g_{ai-1} = g_{ан}$.

4. По уравнению (6) определяем c_{ai}.

5. По уравнению (5) определяем g_{ai}.

6. Делаем переадресовки $c_{ai-1} = c_{ai}$ и $g_{ai-1} = g_{ai}$.

7. Повторяем расчеты по пунктам алгоритма (4–6) m раз, при этом отдельно накапливаем численное значение суммы:

$$S = k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \cdot \left(\Delta x\right) \sum_{i=1}^{j} c_{ai}^n .$$

8. Определяем после m-интераций $c_{am} = c_{ak}$, $g_{am} = g_{ak}$ и $S_k = k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \cdot \left(\Delta x\right)^2 \sum_{j=1}^{m} c_{aj}^n$.

9. Проверяем выполнение градиентного граничного условия (4) с заданной точностью.

10. Варьируя $C_{ан}$ по пункту 1 алгоритма в указанных в этом пункте границах, например, методом половинного деления, находим такое $C_{ан}$ и соответственно $g_{ан}$, при котором выполняется граничное условие (4).

11. Алгоритм для расчета типовой диффузионной модели с граничным условием на выходе (2) и безградиентным граничным (3) может повторять пункты (1–6) вышеописанного алгоритма, при этом расчеты с варьированием $C_{ан}$ по пункту 10 заканчиваем, когда $g_{am} = g_{ak} = 0$ [7].

Результаты сравнительных расчетов реакторов предлагаемой диффузионной модели по предлагаемому алгоритму – в табл. 1 и 2. Нужно отметить, что проверка программ осуществлялась при сравнении получаемых по ним результатов расчетов относительных конечных концентраций C_{ak} с результатами аналитических расчетов для n = 1, так как уравнение (1) имеет аналитическое решение для первого порядка реакции [5].

При n=1 аналитическое решение уравнения (1) с граничными условиями (2) и (3) приводит к следующим значениям относительных конечных концентраций:

Pe=0,1, c_{ak} = 0,1899;

Pe=1, c_{ak} = 0,1326 .

Как видно из табл. 1, при n = 1 расчетные значения относительной конечной концентрации по приведенному выше алгоритму типовой диффузионной модели (обозначены звездочкой) отличаются от аналитических расчетов этого параметра на 0,4 %.

Таблица 1

Зависимость относительной конечной концентрации компонента А от порядка реакции *n* при различных значениях числа Пекле для $k\tau = 4$ и $C_{A0} = 5$

Pe=0,1

Значения относительной конечной концентрации в диффузионной модели	Порядок реакции					
	0,1	0,5	1	1,5	2	3
Предлагаемой с граничными условиями (2) и (4)	0,1886	0,1913	0,1895	0,1890	0,1865	0,1884
Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,1886	0,1900	0,1891*	0,1887	0,1886	0,1885
Реакторе идеального вытеснения	0,0076	0,0112	0,0183	0,0334	0,0476	0,0705
Реакторе идеального смешения	0,2	0,1992	0,1992	0,2002	0,2001	0,2001

Pe=1

Значения относительной конечной концентрации в диффузионной модели	Порядок реакции								
	0,1	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2**	3
Предлагаемой с граничными условиями (2) и (4)	0,1751	0,1541	0,1390	0,1329	0,1309	0,1305	0,1305	0,1320	0,1380
Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,1726	0,1534	0,1396	0,1343	0,1323*	0,1320	0,1325	0,1346	0,1400

Предлагаемая диффузионная модель с граничными условиями (2) и (4) может как завышать, так и занижать результаты расчетов относительной конечной концентрации c_{ak}, но это отличие не превышает 0,1 % по абсолютной величине.

Так, при числе Пекле Pe=1 и порядке реакции $n = 2$ наибольшее отклонение составляет по абсолютной величине 0,0026 (обозначено двумя звездочками), что в процентах менее 2 %.

Последнее объясняется, прежде всего, отличием граничных условий (3) и (4) в предлагаемой и типовой диффузионной модели, ну и частично, как показано выше, накоплением ошибки при численных расчетах по сравнению с расчетами аналитическими. Однако градиенты относительных концентраций на выходе из реактора $\left(\frac{dc_a}{dx}\right)_{x=1}$ в предлагаемой диффузионной модели с граничными условиями (2) и (4) лежат в пределах $10^{-3} \div 10^{-4}$, то есть близки к нулю, а это – граничное условие (3) в типовой диффузионной модели. Поэтому результаты расчетов относительной конечной концентрации компонента А по обеим моделям практически совпадают. Это подтверждают и результаты расчетов, зависимости относительных конечных концентраций компонента А от параметра $k\tau$, пропорционального объему реактора при одинаковых значениях чисел Пекле, и порядка реакции и постоянном значении начальной концентрации $C_{A0} = 5$, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость относительной конечной концентрации компонента А от параметра $k\tau$ при Pe=1, $C_{A0} = 5$

$n = 0,5$

Значения относительной конечной концентрации в диффузонной модели	$k\tau$						
	0,5	1	2	3	4	5	10
1. Предлагаемой с граничными условиями (2) и (4)	0,8837	0,770	0,553	0,352	0,175	0,0403	–
2. Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,8832	0,768	0,548	0,348	0,173	0.0395	–
3. Реакторе идеального вытеснения	0,8830	0,766	0,543	0,327	0,125	–	–
4. Реакторе идеального смешения	0,8838	0,771	0,558	0,363	0,199	0,0820	–

Окончание табл. 2

Значения относительной конечной концентрации в диффузонной модели	$k\tau$						
	0,5	1	2	3	4	5	10
							$n = 0,1$
1. Предлагае-мой с граничными условиями (2) и (4)	0,797	0,631	0,389	0,235	0,1390	0,0794	–
2. Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,793	0,628	0,388	0,235	0,1396	0.086	–
3. Реакторе идеального вытеснения	0,798	0,602	0,306	0,108	0,0111	0,0083	–
4. Реакторе идеального смешения	0,801	0,641	0,422	0,285	0,199	0,199	–
							$n = 1$
1. Предлагаемой с граничными условиями (2) и (4)	0,651	0,466	0,278	0,185	0,130	0,0968	0,0302
2. Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,649	0,465	0,278	0,186	0,132	0,0983	0,0314
3. Реакторе идеального вытеснения	0,606	0,367	0,135	0,0497	0,0183	0,0068	$4,69\cdot10^{-5}$
4. Реакторе идеального смешения	0,666	0,5	0,334	0,250	0,1992	0,1660	0,0908
							$n = 1,5$
1. Предлагаемой с граничными условиями (2) и (4)	0,514	0,360	0,228	0,166	0,130	0,107	0,0525
2. Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,513	0,360	0,229	0,168	0,132	0,109	0,0553
3. Реакторе идеального вытеснения	0,411	0,223	0,095	0,053	0,033	0,023	0,0067
4. Реакторе идеального смешения	0,547	0,410	0,292	0,235	0,200	0,176	0,1160
							$n = 2$
1. Предлагаемой с граничными условиями (2) и (4)	0,415	0,298	0,203	0,159	0,1316	0,1137	0,0687
2. Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,416	0,299	0,205	0,161	0,1316	0,1164	0,0723
3. Реакторе идеального вытеснения	0,285	0,166	0,091	0,062	0,0476	0,0385	0,0196
4. Реакторе идеального смешения	0,463	0,358	0,270	0,226	0,200	0,1810	0,1320

Как видно из результатов расчетов, приведенных в табл. 1 и 2, во всех рассматриваемых диапазонах изменения порядка реакции и параметра $k\tau$, пропорционального объему реактора, относительные конечные концентрации по предлагаемой диффузионной модели с граничными условиями (2) и (4) и типовой с граничными условиями (2) и (3) отличаются не более чем на 2 %, и эти отклонения увеличиваются с ростом порядка реакции n.

Расхождения в расчетах по параметру $k\tau$ зависят от числа Ре и растут с его увеличением идеального вытеснения, но эти расхождения такие же незначительные, и это связано с тем, что численные значения градиентного граничного условия на выходе из реактора (4) являются отрицательными, но близкими к нулю, то есть практически не отличаются от безградиентного условия (3) типовой диффузионной модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Левеншпиль, О.* Инженерное оформление химических процессов / О. Левеншпиль. – М.: Химия, 1969. – 624 с.

2. *Кафаров, В. В.* Методы кибернетики в химии и химической технологии / В. В. Кафаров. – М.: Химия, 1976. – 464 с.

3. *Голованчиков, А. Б.* Моделирование структуры потоков в химических реакторах / А. Б. Голованчиков, Н. А. Дулькина ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – 240 с.

4. *Тябин, Н. В.* Методы кибернетики в реологии и химической технологии: учеб. пособие / Н. В. Тябин, А. Б. Голованчиков. – Волгоград, 1983. – 104 с.

5. *Денбиг, К. Г.* Теория химических реакторов / К. Г. Денбиг. – М.: Наука, 1968. – 191 с.

6. *Голованчиков, А. Б.* Моделирование химических реакторов с различными структурами потоков и уровнями сегрегации по реагирующим компонентам / А. Б. Голованчиков, Н. А. Дулькина, Ю. В. Аристова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 11(84) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 12). – С. 12–15.

7. *На, Ц.* Вычислительные методы решения прикладных граничных задач / Ц. На. – М.: Мир, 1982. – 127 с.

УДК 681.586:621.37

В. К. Михайлов, И. А. Плешаков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА ПО ЕГО ПЕРЕХОДНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Волгоградский государственный технический университет

ephys@vstu.ru

Рассмотрены вопросы определения структурных параметров выбранных тепловых моделей термокамеры по ее переходным характеристикам при включении в момент t=0 источника тепла постоянной мощности.

Ключевые слова: алгоритм управления, тепловая модель термокамеры, переходные характеристики.

V. K. Mikhailov, I. A. Pleshakov

DETERMINATION OF PARAMETERS THE OBJECT STRUCTURE BY MEANS OF ITS TRANSITIVE CHARACTERISTICS

Volgograd State Technical University

The problems of definition the structural parameters of the chosen models of a heat-chamber by its transitive characteristics are considered at inclusion in the time t=0 a source with constant heat power.

Keywords: algorithm of a control, model of a heat-chamber, transitive characteristics.

1. Введение

При изложении принципа формирования управляющей функции для двух различных моделей термокамеры [1–4] предполагалось, что все структурные параметры этих моделей, т. е. теплоемкости эквитемпературных тел C_1 и C_2 и теплопроводности оболочек λ_1 и λ_2 – известны. Но на самом деле их так или иначе надо предварительно определять, или хотя бы оценить приближенно, с тем чтобы потом их можно было скорректировать или уточнить путем оптимизации по какому-либо качеству управления (например, по средней точности за весь цикл управления).

На примере тех же двух простых моделей термокамеры [1, 2] рассмотрим метод экспериментального определения их параметров C_1 , C_2, λ_1 и λ_2, основанный на возможности измерения текущих температур каждого эквитемпературного тела, т. е. в данном случае – температур T_1 и T_2. Для этого наиболее удобно исследовать вид кривых $T_1(t)$ и $T_2(t)$ в переходном режиме работы камеры, т. е. проследить за поведением $T_1(t)$ и $T_2(t)$ при t>0, если в момент t=0 включен источник тепла постоянной мощности q.

2. Определение параметров структуры термокамеры с прямым подогревом

Пусть в термокамере используется внутренний, или прямой подогрев, т. е. подогрев от источника тепла мощностью q, установленного непосредственно внутри рабочего объема камеры. Тогда в качестве простейшей ее модели можно взять модель второго порядка, показанную на рис. 1, *а*.

На рис. 1, *б* показан соответствующий такой модели тепловой граф. На основе этого графа легко составить уравнения теплового баланса для тел C_1 и C_2, в левых частях которых записываются скорости приращения тепла в каждом из этих тел. а в правых – положительные и отрицательные тепловые потоки, дающие этот прирост. Эти уравнения являются обыкновенными дифференциальными первого порядка и для каждого из этих тел имеют вид:

$$\left.\begin{aligned} C_1\frac{dT_1}{dt} &= q-\lambda_1(T_1-T_2),\\ C_2\frac{dT_2}{dt} &= \lambda_1(T_1-T_2)-\lambda_2(T_2-T_0),\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где мощность источника q=const и известна.

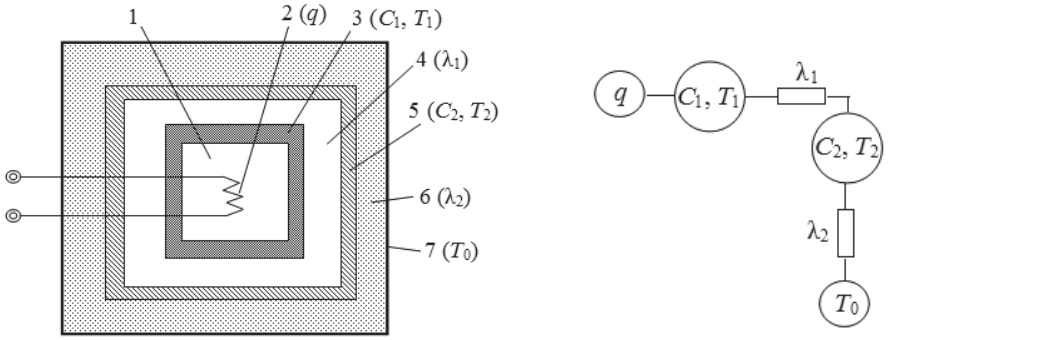
Начальные условия для этих уравнений при t=0 следующие:

$$T_1(0)=T_2(0)=T_0=0. \qquad (2)$$

Здесь, как и ранее [1, 2], отсчет температур T_1 и T_2 ведется от температуры окружающей среды T_0, которую для простоты полагаем равной нулю. Из уравнений (1) и начальных условий (2) следует, что сразу после включения источника, т. е. при t =+0,

$$\dot{T}_1(0) = q / C_1, \qquad (3)$$

$$\dot{T}_2(0) = 0. \qquad (4)$$



а *б*

Рис. 1. Модель термокамеры с источником внутри рабочего объема (*а*) и ее тепловой граф (*б*): *1* – рабочий объем; *2* – нагреватель мощностью q [Дж/с], обдуваемый вентилятором; *3* – металлическая оболочка рабочего объема (T_1 [К] – ее температура; C_1 [Дж/К] – ее теплоемкость); *4* – воздушная прослойка (λ_1 [Дж/(К·с)] – ее теплопроводность); *5* – внутренняя металлическая оболочка (T_2 [К] – ее температура; C_2 [Дж/К] – ее теплоемкость); *6* – теплоизолирующий слой (λ_2 [Дж/(К·с)] – его теплопроводность); *7* – внешняя стенка камеры с температурой окружающей среды T_0 [К]

Кроме того, очевидно, что при $t\to\infty$ и при ограниченной мощности источника температуры T_1 и T_2 должны асимптотически приближаться к некоторым своим установившимся значениям $T_1(\infty)$ и $T_2(\infty)$. При этом скорости их роста

$$\dot{T}_1(\infty) = \dot{T}_2(\infty) = 0. \qquad (5)$$

Величины $T_1(\infty)$ и $T_2(\infty)$ легко вычислить, подставив (5) в (1); это дает:

$$\left.\begin{aligned} T_1(\infty) &= q\left(\frac{1}{\lambda_1}+\frac{1}{\lambda_2}\right), \\ T_2(\infty) &= \frac{q}{\lambda_2}. \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

Из соотношений (2)–(6) можно сделать вывод, что графики переходных характеристик $T_1(t)$ и $T_2(t)$ будут иметь вид, показанный на рис. 2. Эти кривые можно снять экспериментально и по ним графически определить величины $\dot{T}_1(0)$, $T_1(\infty)$ и $T_2(\infty)$, а затем по формулам (2) и (6) – и три структурных параметра модели:

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= \frac{q}{\dot{T}_1(0)}, \\ \lambda_2 &= \frac{q}{T_2(\infty)}, \\ \lambda_1 &= \frac{q}{T_1(\infty)-T_2(\infty)}. \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

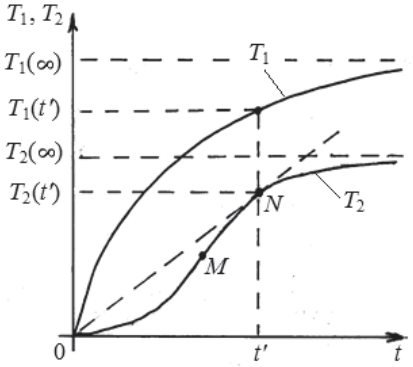


Рис. 2. Общий вид и параметры переходных характеристик для модели рис. 1

Четвертый параметр модели C_2 можно определить, например, по координатам точки перегиба на кривой $T_2(t)$, обозначенной буквой M на рис. 2. Однако точность графического определения координат точки перегиба на кривой $T_2(t)$ невелика, т. е. надежно зафиксировать эту точку нельзя, поэтому для определения C_2 лучше использовать другой, более эффективный метод. Легко зафиксировать графически на кривой $T_2(t)$ точку N такую, что производная в ней равна тангенсу угла наклона касательной, проведенной к ней из начала координат, как показано на рис. 2. Пусть координата этой точки (t', $T_2(t')$), тогда, по определению,

$$\left.\frac{dT_2}{dt}\right|_{t=t'} = \frac{T_2(t')}{t'}.$$

Подставляя это в левую часть второго уравнения (1), получаем:

$$C_2 \frac{T_2(t')}{t'} = \lambda_1 T_1(t') - (\lambda_1 + \lambda_2) T_2(t'),$$

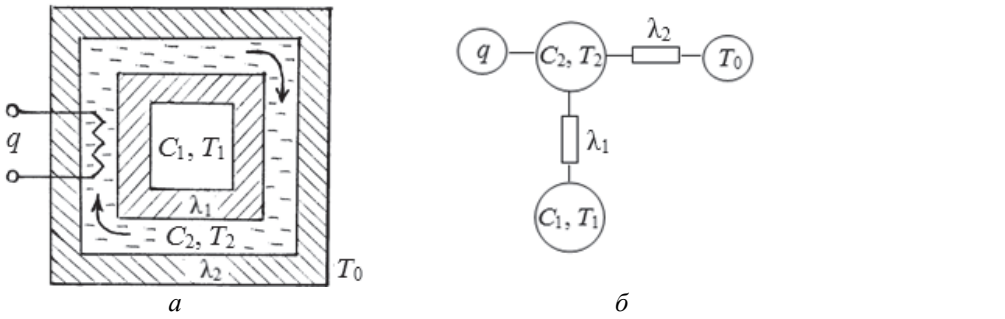
где $T_1(t')$ – температура T_1 в момент времени t' (рис. 2). Тогда четвертый искомый параметр модели

$$C_2 = t' \left(\lambda_1 \frac{T_1(t')}{T_2(t')} - \lambda_1 - \lambda_2 \right).$$

Теплопроводности λ_1 и λ_2, входящие в это выражение, определяются по формулам (7).

3. Определение параметров структуры термокамеры с косвенным подогревом

Рассмотрим теперь простейшую модель термокамеры с косвенным нагреванием рабочего объема, т. е. когда тепло от нагревателя передается непосредственно какому-либо другому телу, например, воде, которая, циркулируя по замкнутой и охватывающей рабочий объем оболочке, передает ему часть полученного тепла через теплопроводящие стенки, как показано на рис. 3, *а*. Тепловой граф, соответствующий такой модели, изображен на рис. 3, *б*.



а *б*

Рис. 3. Модель термокамеры с косвенным нагреванием рабочего объема (*а*) и ее тепловой граф (*б*): λ_1 [Дж/(К·с)] – теплопроводность стенок между водой и рабочим объемом; λ_2 [Дж/(К·с)] – теплопроводность внешних стенок камеры; T_1 [К] – температура в рабочем объеме; T_2 [К] – температура подогреваемой воды; C_1 [Дж/К] – теплоемкость рабочего объема; C_2 [Дж/К] – суммарная теплоемкость воды и тонкостенной оболочки; T_0 [К] – температура окружающей среды

Уравнения переходных характеристик данной модели при включении источника q = const в момент $t = 0$ будут такими:

$$\left.\begin{aligned} C_1 \frac{dT_1}{dt} &= \lambda_1 (T_2 - T_1), \\ C_2 \frac{dT_2}{dt} &= q - \lambda_1 (T_2 - T_1) - \lambda_2 T_2. \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

Начальные условия здесь те же, что и для рассмотренной выше модели с прямым подогревом:

$$T_1(0)=T_2(0)=T_0=0. \qquad (9)$$

Здесь, как и ранее [1, 2], отсчет температур T_1 и T_2 ведется от температуры окружающей среды T_0, которую для простоты полагаем равной нулю.

Из (9) и уравнений (8) имеем:

$$\dot{T}_1(0) = 0, \qquad (10)$$

$$\dot{T}_2(0) = q / C_2. \qquad (11)$$

Полагая в (8) $\dot{T}_1(\infty) = \dot{T}_2(\infty) = 0$, получаем установившиеся температуры

$$T_1(\infty) = T_2(\infty) = q / \lambda_2, \qquad (12)$$

т. е., в отличие от предыдущей модели, здесь они равны.

Графики переходных характеристик $T_1(t)$ и $T_2(t)$, соответствующие условиям (9)–(12), изображены на рис. 4. Экспериментально сняв эти кривые, из (11) и (12) сразу находим:

$$C_2 = \frac{q}{\dot{T}_2(0)}, \quad \lambda_2 = \frac{q}{T_1(\infty)}. \qquad (13)$$

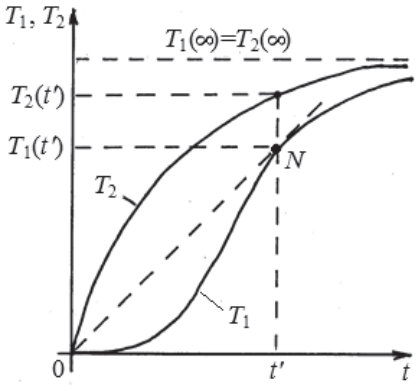


Рис. 4. Общий вид и параметры переходных характеристик для модели рис. 3

Определение остальных двух параметров – C_1 и λ_1 – из рис. 4 оказывается несколько слож-

нее и, по-видимому, не столь надежно, как C_2 и λ_2, поскольку они выражаются через производную dT_2/dt в момент t'. Действительно, записывая уравнения (8) для момента времени t', определяемого, как и ранее, условием

$$\left.\frac{dT_1}{dt}\right|_{t=t'} = \frac{T_1(t')}{t'}$$

(точка N на рис. 4), получаем систему двух уравнений относительно неизвестных C_1 и λ_1, откуда находим:

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= \frac{t'}{T_1}(q - C_2\dot{T}_2 - \lambda_2 T_2), \\ \lambda_1 &= \frac{1}{T_2 - T_1}(q - C_2\dot{T}_2 - \lambda_2 T_2). \end{aligned}\right\}$$

Температуры T_1, T_2 и производная $\dot{T}_2$ здесь вычисляются в момент t', а величины C_2 и λ_2 подставляются из (13).

Изложенный метод определения структурных параметров $\{C, \lambda\}$ по переходным характеристикам вполне может быть применим и для моделей высокого порядка, поскольку при добавлении в модель очередного эквитемпературного тела просто добавляется еще одно уравнение и еще одна характеристика $T_i(t)$, несущие информацию об искомых параметрах модели.

4. Адаптация управления

Алгоритм, описанный в статьях [1] и [2], имеет целью сформировать управление $q(t)$ такое, чтобы главная переменная, т. е. температура T_1 в рабочем объеме термокамеры, изменялась в соответствии с заданным для нее законом $\theta_1(t)$. Если при этом происходит отклонение T_1 от заданного закона, то на очередном участке управления искусственно задается *корректирующая траектория* для температуры T_1, выводящая ее на основную эталонную кривую $\theta_1(t)$ [3]. Подобные отклонения могут быть случайными, возникающими, например, при кратковременных рывках тока через нагревательный элемент в течение интервала управления, при коротком открывании дверцы термокамеры и т. д. Однако эти отклонения могут носить и систематический характер, когда ошибка $\Delta T = T_1 - \theta_1$ имеет тенденцию быть одного знака, т. е. когда камера, например, постоянно перегревается, и вследствие этого управление в течение всего цикла приходится вести по корректирующим траекториям. В этом случае вместо постоянной коррекции траектории целесообразно немного подправить, или скорректировать параметры самой модели камеры $\{C, \lambda\}$. Причем не исключено, что вследствие несовершенства модели, такие поправки могут оказаться различными для разных режимов работы, скажем, для режима поддержания постоянной температуры и режима сравнительно быстрого нагревания.

Таким образом, возникает задача *оптимизации параметров* выбранной модели. В качестве критерия этой оптимизации можно выбрать, например, минимум функционала

$$S = \sum_{j=1}^{m} \Delta T_{1j}^2 = \sum_{j=1}^{m} (T_{1j} - \theta_{1j})^2 ,$$

где m – число интервалов управления в данном режиме работы или за время всего цикла управления.

Однако здесь возникает следующая трудность. Если пытаться подбирать параметры модели $\{C, \lambda\}$ путем минимизации функционала S в каком-либо одном режиме, то задача будет неоднозначной. Действительно, если, например, в качестве такого режима взять режим постоянной температуры $T_1 = \text{const}$, то цели $S = 0$ можно достигнуть подбором только двух или даже одной теплопроводности λ (в зависимости от конкретной модели камеры), поскольку, как видно из формул (6), (7) и (12), (13), мощность источника q в этом случае зависит только от этих структурных параметров и не зависит от теплоемкости тел. В других режимах управление определяется целыми комбинациями параметров и варьированием каждого из них можно добиться уменьшения S в конкретном режиме, хотя остальные параметры могут оставаться совершенно неправильными, что выявится только при изменении режима.

Для того, чтобы задача оптимизации всего набора структурных параметров была корректной, необходимо проводить эту оптимизацию по многим режимам работы сразу. Например, цикл управления должен включать в себя равномерный, синусоидальный, экспоненциальный режимы изменения температуры. Число различных режимов, вообще говоря, должно быть тем больше, чем больше в выбранной модели параметров, т. е. чем выше ее порядок. Если первоначальное определение параметров по переходному режиму уже проведено, как это описано выше, то они не сильно должны отличаться от оптимальных. Следовательно, функционал S будет практически квадратично зависеть от каждого из них, и оптимизацию можно сделать одношаговой. Тем не менее, даже в этом случае процедура оптимизации выбора

нескольких параметров оказывается весьма длительной, поскольку при пробной вариации каждого из них необходимо провести полный цикл управления в данном режиме, который для реальной термокамеры может продолжаться много часов.

В связи с этим более разумным представляется другой подход. Так как реально число режимов работы термокамеры невелико (это, например, режимы постоянной температуры и равномерного ее изменения в рабочем объеме), то в выражения для соответствующих управляющих функций $q(t)$ для моделей [1] и [2] можно ввести корректирующие коэффициенты k, близкие к единице. Если в данном режиме температура T_1 систематически превышает эталонные значения θ_1, то положить $k < 1$, в противном случае – $k > 1$. Квадратичная оптимизация коэффициента k потребует всего трех циклов измерений в каждом используемом режиме. В режиме постоянной температуры этот коэффициент будет фактически поправкой только на одну или обе теплопроводности λ, так как мощность источника здесь от теплоемкости C не зависит, а определяется лишь потоком тепла в окружающее пространство. В режиме же изменения температуры он будет поправкой сразу на целые комбинации структурных параметров $\{C, \lambda\}$, входящих в управляющую функцию. Вариации этого коэффициента в процессе управления очень динамичны: его можно поправлять после каждых трех-пяти случаев систематического отклонения температуры T_1 от заданной функции $\theta_1(t)$, причем необходимая величина поправки отрабатывается также за несколько шагов. Отработанные в каждом режиме очередного цикла управления k_i запоминаются и используются уже в качестве исходных в следующем цикле.

Метод коррекции управления, который назовем *адаптивным*, кроме гибкости может иметь и еще одно достоинство − возможность сохранения низкого порядка модели. Дело в том, что реальная термокамера является системой с распределенными параметрами $\{C, \lambda\}$, и ее если и можно адекватно описать дискретной моделью, то очень высокого порядка. Этого требует и сложность конструкции камеры. Понижение же порядка модели до второго приведет к тому, что вообще не найдется такого набора ее малочисленных параметров, который бы позволил построить подходящее управление для самых разнообразных режимов работы. А именно такая задача возникает, как было отмечено выше, при попытке оптимизировать каждый из параметров в отдельности.

Таким образом, малый набор параметров упрощенной модели в принципе не может быть универсальным для всех реализуемых режимов. Однако практически при работе камеры используются лишь три-четыре режима, и именно это обстоятельство позволяет обходиться моделью низкого порядка. В небольшом числе режимов и управление определяется небольшим числом комбинаций параметров, которые будут *эффективно* входить в поправочные коэффициенты k_i для каждого из этих режимов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Михайлов, В. К.* Работа алгоритма управления температурой для простейших моделей термокамеры. 1. Формирование управляющей функции для тепловой модели с прямым подогревом / В. К. Михайлов, И. А. Плешаков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. научн. ст. № 15(102) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 15). – С. 23–26.

2. *Михайлов, В. К.* Работа алгоритма управления температурой для простейших моделей термокамеры. 2. Формирование управляющей функции для тепловой модели с косвенным подогревом / В. К. Михайлов, И. А. Плешаков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. научн. ст. № 8(111) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 16). – С. 29–31.

3. *Михайлов, В. К.* Принцип построения алгоритма управления состоянием линейных инерционных объектов / В. К. Михайлов, И. А. Плешаков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. научн. ст. № 10(97) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 14). – С. 36–41.

4. *Михайлов, В. К.* Принцип построения алгоритма управления от одного источника / В. К. Михайлов, И. А. Плешаков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. научн. ст. № 15(102) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 15). – С. 19–22.

5. *Гусев, С. С.* Алгоритм идентификации динамических объектов с учетом априорной информации о параметрах / С. С. Гусев, В. М. Чадеев // Проблемы управления. – 2009. – № 1. – С. 18–21.

6. *Разоренов, Г. Н.* Теория и системы оптимального управления / Г. Н. Разоренов, А. А. Самарин. − М.: МО, 2007. − 476 с.

7. *Бесекерский, В. А.* Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – СПб.: Профессия, 2004. − 749 с.

8. *Семенов, В. Г.* Математическая модель микроклимата теплицы / В. Г. Семенов, Е. Г. Крушель // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. научн. ст. № 6(54) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 6). – С. 32–35.

УДК 681.5.033

И. А. Семенова, Л. И. Медведева

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ ПАРОВ БЕНЗИНА В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ АДСОРБЕРЕ

Волжский политехнический институт

semirinaalex@yandex.ru

В статье изложены методы расчета динамической характеристики адсорбера в технологическом процессе рекуперации бензина, представлена его структурная схема.

Ключевые слова: случайные процессы, процесс адсорбции, методы получения динамической характеристики, весовая характеристика, взаимная корреляционная функция.

I. A. Semenova, L. I. Medvedeva

CALCULATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS THE ADSORPTION PROCESS OF GASOLINE VAPOR IN HORIZONTAL ADSORBERS

Volzhsky Polytechnical Institute

The article describes the methods for calculating the dynamic characteristics of the adsorption process in the recovery of gasoline, it is a block diagram.

Keywords: stochastic processes, the process of adsorption, methods for dynamic performance, the weight characteristics, the cross-correlation function.

Вследствие широкого использования средств вычислительной техники для управления технологическими процессами в химической промышленности возрастает необходимость расчета характеристик и их математического описания в объектах управления (ОУ). В данной статье рассматриваются методы получения математической модели ОУ в рамках технологического процесса рекуперации бензина, заключающегося в адсорбции паров бензина активированным углем.

Рассчитанные математические модели могут применяться в работе процесса адсорбции, являющимся основополагающим в работе всей рекуперационной установки. Рекуперационная установка расположена на заводе ОАО «ВАТИ» в городе Волжском, изготавливающем асбестотехнические изделия (тормозные колодки, фрикционные накладки, паронит, ткани асбестовые, шнур асбестовый).

На данном предприятии процессы адсорбции и рекуперации позволяют вторично использовать бензин, техническую воду, получаемые из вредных и взрывоопасных смесей, отводимых из цехов паронитового производства. Возврат бензина в производство составляет 71%. Это приводит к значительному снижению себестоимости продукции завода ОАО «ВАТИ», а снижение себестоимости продукции позволяет заводу занимать ведущее место в отрасли по общему объему производства, отгрузке и реализации продукции.

Также одним из выходных продуктов процесса адсорбции является отработанный воздух, отводимый в атмосферу, предельно допустимая концентрация паров бензина в котором, должна быть минимальна и безопасна для окружающей среды (до 100 мг/м^3) [1].

Следовательно, исследование данного процесса актуально и необходимо во избежание опасностей для человеческой жизни.

Значимым показателем, влияющим на результативность адсорбции паровоздушной смеси (ПВС) является температура в адсорбере. Качество процесса оценивается максимальной концентрацией бензина, полученного в результате процесса рекуперации.

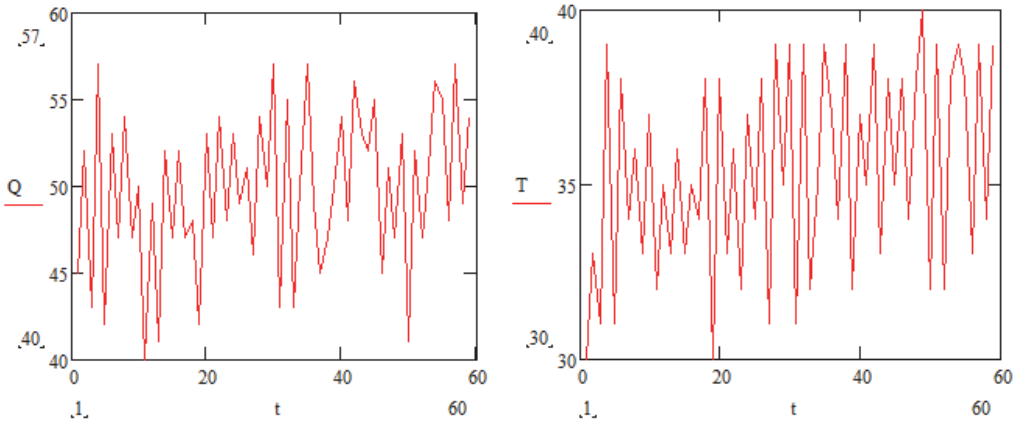
Целью данного исследования является нахождение математической модели, адекватно (в рамках погрешности) описывающей изменение температуры внутри адсорбера.

В статье кратко излагаются методы нахождения математического описания динамической характеристики объекта управления (ОУ) – адсорбера; приводятся погрешности каждой из полученных математических моделей.

На стадии адсорбции входные (Q – расход ПВС, м^3/мин) и выходные (T – температура в адсорбере, °C) величины представляют собой случайные функции времени – случайные процессы (рис.1).

Определение динамической характеристики ОУ затруднительно, и каждый метод получения математического описания представляет ре-

зультат в рамках погрешности. В качестве методов, позволяющих найти математическую модель ОУ используются: определение весовой характеристики ОУ с помощью корреляционной функции и метод переходных характеристик.



а *б*

Рис. 1. Реализация случайных процессов:
а – расход ПВС (м^3/мин); *б* – температура ПВС в адсорбере (°С)

В первую очередь рассматривается *нахождение весовой характеристики ОУ с помощью корреляционной функции*. В результате обработки экспериментальных данных находятся оценки математического ожидания входного (Q – расход ПВС, м^3/мин) и выходного (Т – температура в адсорбере, °С) сигналов и корреляционной функции входного сигнала, значения которых вычисляются по формулам [2]:

$$m_Q^* = \frac{1}{n+1}\sum_{i=0}^{n} Q_i ; \quad m_T^* = \frac{1}{n+1}\sum_{i=0}^{n} Q_i ; \qquad (1)$$

$$R_Q^*(j\tau) = \frac{1}{n-j}\cdot\sum_{i=1}^{n-j}(Q_i - m_Q^*)\cdot(Q_{i+j} - m_Q^*). \qquad (2)$$

Расчет взаимной корреляционной функции входного и выходного сигналов осуществляется по формуле [2]:

$$R_{QT}^*(j\tau) = \frac{1}{n-j}\cdot\sum_{i=1}^{n-j}(Q_i - m_Q^*)\cdot(T_{i+j} - m_T^*), \qquad (3)$$

где n – число замеров или экспериментов; j – текущий порядковый номер значения оценки корреляционной функции; i – порядковый номер замера или эксперимента; m_Q^*, m_T^* – оценки математического ожидания входного и выходного сигналов, Q_i, T_i – текущие значения расхода и температуры ПВС.

В инженерной практике взаимная корреляционная функция представляется в матричном виде. Нахождение значений оценки весовой характеристики осуществляется с помощью уравнения в матричной форме:

$$H = A^{-1}\cdot B, \qquad (4)$$

где А – матрица корреляционной функции входного сигнала (A^{-1} матрица обратная А), В – вектор корреляционной функции входного сигнала.

Выражения для матриц имеют следующий вид [3]:

$$A = \begin{pmatrix} R_Q(0) & R_Q(1) & R_Q(2)... & ...R_Q(N) \\ R_Q(1) & R_Q(0) & R_Q(1)... & ...R_Q(N-1) \\ R_Q(2) & R_Q(1) & R_Q(0)... & ...R_Q(N-2) \\ ... & ... & ... & ... \\ R_Q(N) & R_Q(N-1) & R_Q(N-2) & R_Q(0) \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} R_Q(0) \\ R_Q(1) \\ R_Q(2) \\ ..... \\ R_Q(N) \end{pmatrix}. \qquad (5)$$

Решение уравнения в матричной форме (4) производится в программном средстве MathCAD 14.

По весовой характеристике ОУ определяется его передаточная функция. Известно, что переходная функция представляет собой интеграл от импульсной переходной характеристики (весовой функции):

$$w(t) = \int_0^{\infty} h(\tau)d\tau. \qquad (6)$$

Следующим способом нахождения математического описания ОУ является *метод пере-*

ходных характеристик. Этот метод прост, требует минимального количества аппаратуры и позволяет определить динамические характеристики объекта за короткий промежуток времени [4]. В процессе исследования характеристик адсорбера проводится эксперимент, в результате которого получаются данные изменения температуры ПВС с термопар в начале процесса адсорбции [5].

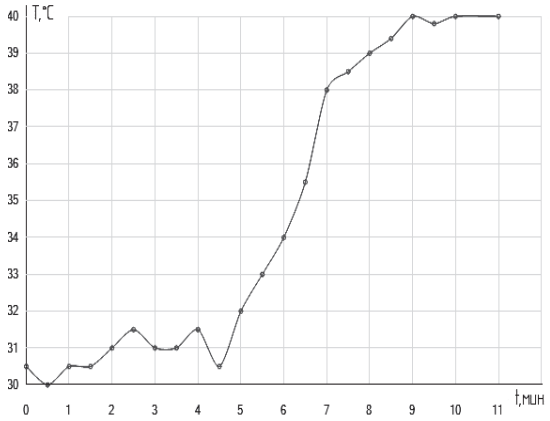


Рис. 2. Изменение температуры ПВС, подаваемой в адсорбер

На рис. 2 представлен процесс, искаженный неустановившимися значениями температуры подаваемой ПВС.

Для получения математической модели используется метод сглаживания переходной характеристики скользящим усреднением по формуле:

$$h^*_{i+l/2} = \frac{1}{l+1}\sum_{\beta=0}^{i} z_i + \beta\,, \qquad (7)$$

где h^* – оценки ординат переходной характеристики $h(t)$; Δt – интервал времени; l – любое целое и четное число; z_i (i=0,1,2,..,n) – ординаты [4].

Объект с такой характеристикой аппроксимируется цепочкой последовательно соединенных апериодических звеньев первого порядка, которые имеют одинаковые постоянные времени с звеном запаздывания:

$$W_{об}(p) = \frac{k_{об}}{(T\cdot p+1)^n} e^{-p\tau}\,, \qquad (8)$$

где τ – время запаздывания, T – апериодическая постоянная времени объекта, k – коэффициент усиления.

Вышеописанные методы применяются к объекту исследования, которым является цилиндрический адсорбер горизонтального типа (рис.3) [6], применяющийся в процессе адсорбции (стадия насыщения) и процессе десорбции паров бензина (отгонка).

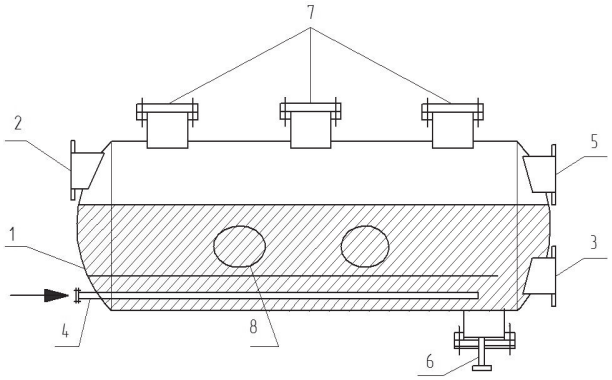


Рис. 3. Горизонтальный адсорбер с неподвижным слоем поглотителя:
1 – корпус, 2 – штуцер для подачи паровоздушной смеси (ПВС), 3 – штуцер для отвода отработанного воздуха, 4 – барботер для подачи острого пара при десорбции, 5 – штуцер для отвода паров при десорбции,6 – штуцер для отвода конденсата, 7 – люки для загрузки поглотителя, 8 – люки для выгрузки поглотителя

Структурная схема ОУ приведена на рис. 4.

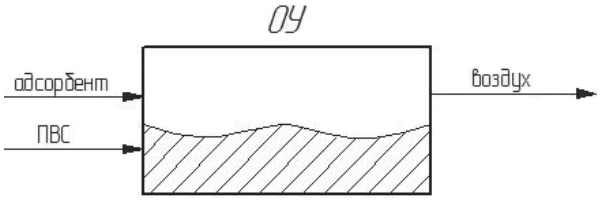


Рис.4. Структурная схема ОУ

ПВС, содержащая пары бензина при t=32°C поступает в штуцер 2 для подачи ПВС (рис.3). Средний расход подаваемой ПВС в адсорбер составляет 57,7 м^3/мин. Уголь активированный рекуперационный АР-В, АР-Б является адсорбирующим веществом. Отработанный воздух (t=40-42°C), очищенный от паров бензина отводится через выхлопную трубу 3 в атмосферу (рис.3). Средний расход отводимого воздуха составляет 17,31 м^3/мин.

В результате исследования ОУ и анализа экспериментальных данных рассчитываются следующие математические модели ОУ.

Математическая модель по каналу «расход ПВС – температура в адсорбере», рассчитанная с помощью корреляционной функции имеет вид:

$$W(p) = \frac{0{,}17}{4{,}72\cdot p^3 + 7{,}35\cdot p^2 + 3{,}16\cdot p + 1}\cdot e^{-2{,}19\cdot p}\,. \qquad (9)$$

Переходный процесс представлен на рис. 5.

При определении динамической характеристики с помощью метода переходных характеристик рассчитанная математическая модель по каналу «расход ПВС – температура в адсорбере» имеет вид:

$$W_{об}(p) = \frac{0{,}17}{(0{,}72 \cdot p + 1)^3} e^{-2{,}19p}. \qquad (10)$$

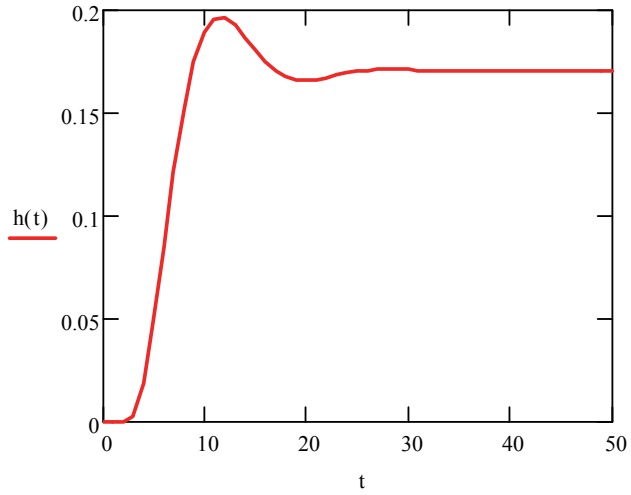


Рис. 5. Переходный процесс ОУ

Переходный процесс представлен на рис. 6:

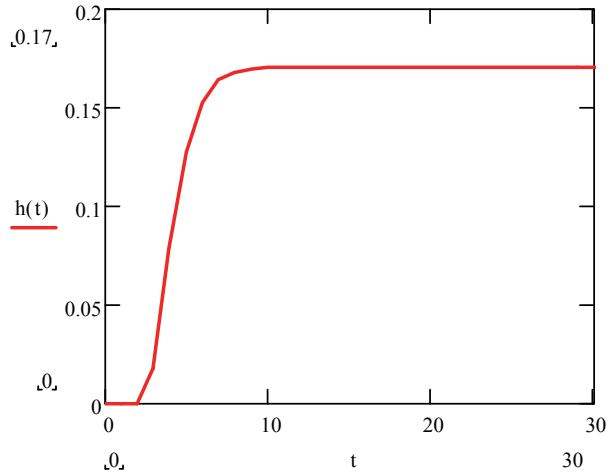


Рис. 6. Переходный процесс ОУ

Анализ переходных процессов показывает, что при изменении расхода ПВС температура в адсорбере сначала растет, а затем выравнивается относительно нового состояния, а это отвечает реальным условиям течения процесса. По результатам расчета математических моделей динамической характеристики ОУ – адсорбера формируются следующие выводы.

Погрешность математической модели, найденной с помощью *корреляционной функции* равна 8,5 %; с помощью *метода переходных характеристик* – 9,7 %. Передаточные функции в рамках погрешности точно описывают исследуемую динамическую характеристику ОУ. Методы нахождения динамической характеристики ОУ дали адекватные математические модели ОУ.

Найденные математические описания изменения температуры в адсорбере позволяют влиять на результативность процесса, т.к. температура в адсорбере является косвенным показателем, влияющим на качество адсорбции. А качество адсорбции: это минимальное содержание паров бензина в воздухе, отводимом в атмосферу, и максимальное – в бензине, используемом вторично в паронитном производстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны : постановление о введении в действие ГН 2.2.5.1313-03 от 30 апреля 2003 г. №76 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2003. 2000 – № 31. – Ст. 3295.

2. *Гартман, Т. Н.* Основы компьютерного моделирования химико-технологичеких процессов / Т. Н. Гартман. – М.: Академкнига, 2006. – 416 с.

3. *Бесекерский, В. А.* Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – Спб.: Профессия, 2003. – 757 с.

4. *Шишмарев, В. Ю.* Основы автоматического управления / В. Ю. Шишмарев. – М.: Академия, 2008. – 352 с.

5. *Михайлов, В. К.* Принцип построения алгоритма управления состоянием линейных инерционных объектов / В. К. Михайлов, И. А. Плешаков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 10(97) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 14). – С. 36–41.

6. *Оура, К.* Введение в физику поверхности / К. Оура, В.Г. Лифшиц, А.А. Саранин ; пер. с нем. А. В. Зотова, А. А. Саранина ; под ред. В. И. Сергиенко. – М.: Наука, 2006. – 490 с.

УДК 517.5

Б. В. Симонов, И. Э. Симонова

РЯДЫ ПО СИНУСАМ И КОСИНУСАМ С КОЭФФИЦИЕНТАМИ ИЗ КЛАССА (OB_r)*

Волгоградский государственный технический университет

simonov-b2002@yandex.ru, simonova-vstu@mail.ru

В работе рассматриваются тригонометрические ряды с коэффициентами из класса (OB_r). Доказана их сходимость и представление.

Ключевые слова: ряды, коэффициенты, подпоследовательность.

B. V. Simonov, I. E. Simonova

SINE AND COSINE SERIES WITH COEFFICIENTS IN (OB_r) CLASSES

Volgograd State Technical University

We study sine and cosine series with coefficients in (OB_r) classes. Their convergence and performance are proved.

Keywords: series, coefficients, subsequence.

1. Введение

Основы теории тригонометрических рядов сформировались в 19в. в значительной степени в связи с потребностью нахождения методов решения уравнений математической физики. Многочисленные математические модели задач математической физики и методы их решения, как аналитические, так и численные, приведены в книге А.Н. Тихонова, А.А. Самарского ([1]).

Методы суммирования тригонометрических рядов широко используются в радиотехнике при построении моделей каналов связи. Электрические сигналы, проходящие по каналам связи, в простейшем случае имеют форму гармонических сигналов $A(\omega)\sin(\omega t+\varphi)$. В качестве математических моделей более сложных сигналов, в том числе импульсных, используются суммы гармонических колебаний.

В настоящей работе изучаются специальные классы тригонометрических рядов по синусам и косинусам с коэффициентами из класса (OB_r). Эта работа продолжает исследования авторов в области специальных классов тригонометрических рядов с коэффициентами, монотонными по подпоследовательностям. Такие ряды находят широкое применение. Так, например, они используются при изучении точности неравенств, теорем вложения (см., например, [2], [3], [4]).

Будем рассматривать тригонометрические ряды вида

$$\frac{a_0}{2}+\sum_{n=1}^{\infty}a_n\cos nx, \qquad (1)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty}a_n\sin nx. \qquad (2)$$

Определение 1 ([5]). Будем говорить, что последовательность $\{a_n\}$ удовлетворяет условию (B), если

$$\lim_{n\to\infty}a_n=0 \quad \text{и} \quad \sum_{n=0}^{\infty}|\Delta a_n|<\infty,$$

где $\Delta a_n=a_n-a_{n+1}$.

Если последовательность $\{a_n\}$ монотонно стремится к нулю, то $\{a_n\}$ удовлетворяет условию (B). Когда последовательность $\{a_n\}$ удовлетворяет условию (B), то ряды (1) и (2) сходятся всюду, кроме, быть может, точек $x\equiv 0(\mathrm{mod}\,2\pi)$ для ряда (1) (см. [6], стр. 16). Обозначим сумму ряда (1) через $f(x)$, а сумму ряда (2) – через $g(x)$. В случае, когда выполнено условие (B), применим преобразование Абеля к частным суммам рядов (1) и (2). Переходя к пределу, получим (см. [5]) следующие представления рядов (1) и (2):

$$f(x)=\sum_{k=0}^{\infty}\Delta a_k\cdot D_k(x),\ \ g(x)=\sum_{k=1}^{\infty}\Delta a_k\cdot \overline{D}_k(x),$$

при $x\neq 0(\mathrm{mod}\,2\pi)$,

$$D_k(x)=\frac{\sin\left(k+\frac{1}{2}\right)x}{2\sin\frac{1}{2}x},$$

$$\overline{D}_k(x)=\frac{\cos\frac{1}{2}x-\cos\left(k+\frac{1}{2}\right)x}{2\sin\frac{1}{2}x}.$$

* Исследования первого автора проводились при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 12-01-00169) и программы ведущих научных школ (грант НШ-3682.2014.1).

Такие представления находят широкое применение. Например, они используются при исследовании вопроса об интегрируемости функций $f(x)$ и $g(x)$, а также вопроса о том, являются ли ряды (1) и (2) рядами Фурье этих функций.

Пусть дано натуральное число r. Последовательность коэффициентов $\{a_n\}_{n=0}^{\infty}$ (или $\{a_n\}_{n=1}^{\infty}$) можно разбить на r подпоследовательностей

$$\{a_{rn}\}_{n=0}^{\infty},\ \{a_{rn+1}\}_{n=0}^{\infty},\ \ldots,\ \{a_{rn+r-1}\}_{n=0}^{\infty}$$

или $(\{a_{rn}\}_{n=1}^{\infty},\ \{a_{rn-1}\}_{n=1}^{\infty},\ \ldots,\ \{a_{rn-r+1}\}_{n=1}^{\infty})$.

В частности, при $r=1$ имеется одна последовательность – это сама последовательность $\{a_n\}_{n=0}^{\infty}$ (или $\{a_n\}_{n=1}^{\infty}$);при $r=2$ имеется две подпоследовательности - $\{a_{2n}\}_{n=0}^{\infty}$ и $\{a_{2n+1}\}_{n=0}^{\infty}$ (или $\{a_{2n}\}_{n=1}^{\infty}$ и $\{a_{2n-1}\}_{n=1}^{\infty}$); при $r=3$ имеется три подпоследовательности - $\{a_{3n}\}_{n=0}^{\infty}, \{a_{3n+1}\}_{n=0}^{\infty}$ и $\{a_{3n+2}\}_{n=0}^{\infty}$ (или $\{a_{3n}\}_{n=1}^{\infty}, \{a_{3n-1}\}_{n=1}^{\infty}$ и $\{a_{3n-2}\}_{n=1}^{\infty}$) и т.д.

Определение 2. Будем говорить, что последовательность $\{a_n\}$ удовлетворяет условию (B_r) ($r \in N$), если

$$\lim_{n\to\infty} a_n = 0 \quad \text{и} \quad \sum_{n=0}^{\infty} |\Delta_{1,r} a_{rn+k}| < \infty,$$
$$k = 0,1,\ldots,r-1,$$

где $\Delta_{1,r} a_{rn+k} = a_{rn+k} - a_{rn+k+r}$, $\Delta_{2,r} a_{rn+k} = \Delta_{1,r}\left(\Delta_{1,r} a_{rn+k}\right)$.

Заметим, что если $r=1$, то $\Delta_{1,r} a_{rn+k} = \Delta_{1,1} a_n = a_n - a_{n+1} = \Delta a_n$, т.е. условие ($B_1$) совпадает с условием (B).

Определение 3. Будем говорить, что последовательность $\{a_n\}$ удовлетворяет условию (OB_r) ($r \in N$), если

$$\lim_{n\to\infty} a_n = 0 \text{ и } \sum_{n=0}^{\infty}\left(|\Delta_{1,r} a_{rn}| + \left(\left[\frac{r}{2}\right] - \left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot |\Delta_{1,r} a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}| + sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot \sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(|\Delta_{1,r}(a_{rn+k} + a_{rn+r-k})| + |\Delta_{1,r}(a_{rn+k} - a_{rn+r-k})|\right)\right) < \infty,$$

где $[a]$ – целая часть числа a.

Заметим, что если последовательность $\{a_n\}$ удовлетворяет условию (B_r), то она удовлетворяет и условию (OB_r). Обратное же не всегда верно.

Пусть

$$n \in N; l \in N \cup \{0\}; B_0^0(x) = \frac{1}{2}; B_n^0(x) = \cos nx;$$
$$B_l^1(x) = \sum_{m=0}^{l} B_m^0(x); B_l^2(x) = \sum_{m=0}^{l} B_m^1(x);$$
$$\overline{B}_n^0(x) = \sin nx; \overline{B}_n^1(x) = \sum_{m=1}^{n} \overline{B}_m^0(x);$$
$$BC_l^0(x) = \cos((2l+1)x); BC_l^1(x) = \sum_{m=0}^{l} BC_m^0(x);$$
$$\overline{BC}_l^0(x) = \sin((2l+1)x); \overline{BC}_l^1(x) = \sum_{m=0}^{l} \overline{BC}_m^0)(x).$$

Заметим, что $B_l^1(x)$ – ядро Дирихле $D_l(x)$, $\overline{B}_n^1(x)$ – сопряженной ядро Дирихле $\overline{D}_n(x)$, $B_l^2(x)$ – ядро Фейера, умноженное на $l+1$.

Сформулируем основное утверждение.

Утверждение. *Пусть* $r \in N, l \in Z$. *Если последовательность* $\{a_n\}$ *удовлетворяет условию* (OB_r), *то ряды(1) и (2) сходятся всюду, кроме, быть может, точек* $-m\cdot\frac{2\pi}{r} + 2l\pi$, *где* $m = -\left[\frac{r}{2}\right], -\left[\frac{r}{2}\right]+1, \ldots, 0, 1, \ldots, \left[\frac{r-1}{2}\right]$, $l \in Z$. *На каждом отрезке*

$$\left[-\frac{\pi}{r} - m\frac{2\pi}{r}, -m\frac{2\pi}{r} - \varepsilon_m^{(1)}\right],$$
$$\left[-m\frac{2\pi}{r} + \varepsilon_m^{(2)}, \frac{\pi}{r} - m\frac{2\pi}{r}\right],$$

где $\varepsilon_m^{(1)}, \varepsilon_m^{(2)} > 0, m = -\left[\frac{r}{2}\right], \ldots, \left[\frac{r-1}{2}\right]$, *ряды(1) и (2) сходятся равномерно.*

Функции $f\left(x-l\frac{2\pi}{r}\right)$ ($f(x)$ – *сумма ряда (1)) и* $g\left(x-l\frac{2\pi}{r}\right)$ ($g(x)$ – *сумма ряда (2)), могут быть почти всюду представлены в виде*

$$f\left(x-l\frac{2\pi}{r}\right)=\sum_{n=0}^{\infty}\left(\Delta_{1,r}a_{rn}\cdot B_n^1(rx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot\cos l\pi\cdot\Delta_{1,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}BC_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\right.$$

$$+sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\cos\left(kl\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{1,r}\left(a_{rn+k}+a_{rn+r-k}\right)\cdot BC_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\right.$$

$$\left.\left.+\sin\left(kl\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{1,r}\left(a_{rn+k}-a_{rn+r-k}\right)\cdot\overline{BC}_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)\right)\right),\quad(3)$$

$$g\left(x-l\frac{2\pi}{r}\right)=\sum_{n=0}^{\infty}\left(\Delta_{1,r}a_{r(n+1)}\cdot\overline{B}_{n+1}^1(rx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot\cos l\pi\cdot\Delta_{1,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}\overline{BC}_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\right.$$

$$+sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\cos\left(kl\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{1,r}\left(a_{rn+k}+a_{rn+r-k}\right)\cdot\overline{BC}_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)-\right.$$

$$\left.\left.-\sin\left(kl\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{1,r}\left(a_{rn+k}-a_{rn+r-k}\right)\cdot BC_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)\right)\right).$$

2. Вспомогательные утверждения

Лемма 1 ([7]). *Пусть* $n\in N\cup\{0\}$. *Тогда*

для $x\neq 0(\mathrm{mod}\,2\pi)$ $B_n^1(x)=\dfrac{\sin\left((2n+1)\frac{x}{2}\right)}{2\sin\frac{x}{2}}$,

$$B_n^2(x)=\frac{\sin^2\left((n+1)\frac{x}{2}\right)}{2\sin^2\frac{x}{2}},$$

$$\overline{B}_{n+1}^1(x)=\frac{\cos\frac{x}{2}-\cos\left((2(n+1)+1)\frac{x}{2}\right)}{2\sin\frac{x}{2}};$$

для $x\neq(\mathrm{mod}\,\pi)$ $BC_n^1(x)=\dfrac{\sin((2n+1)x)}{2\sin x}$,

$$BC_n^2(x)=\frac{\sin((n+1)x)\cdot\sin((n+2)x)}{2\sin^2(x)};$$

$$\overline{BC}_n^1(x)=\frac{\sin^2((n+1)x)}{\sin x}.$$

Лемма 2 ([8]). *Для того чтобы последовательность функций* $f_n, n=1,2,...,$ *определенных на некотором множестве* E, *равномерно сходилась на этом множестве, необходимо и достаточно, чтобы для любого* $\varepsilon>0$ *существовал такой номер* n_ε, *что для всех номеров* $n>n_\varepsilon$, *всех целых* $p\geq 0$ *и всех точек* $x\in E$ *выполнялось неравенство* $\left|f_{n+p}(x)-f_n(x)\right|<\varepsilon$.

3. Доказательство утверждения

В случае нечетных r представим отрезок $[-\pi,\pi]$, а в случае четных r отрезок $\left[-\pi+\frac{\pi}{r},\pi+\frac{\pi}{r}\right]$ как объединение следующих отрезков $\left[-\frac{\pi}{r}+m\frac{2\pi}{r},-m\frac{2\pi}{r}\right]$,

$$\left[-m\frac{2\pi}{r},\frac{\pi}{r}-m\frac{2\pi}{r}\right]$$

$$\left(m=-\left[\frac{r}{2}\right],-\left[\frac{r}{2}\right]+1,...,\left[\frac{r-1}{2}\right]\right).$$

Рассмотрим частную сумму $S_n(x)$ ряда (1) в случае $r>2$. Тогда

$$\sum_{m=-\left[\frac{r}{2}\right]}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]} S_n(x)\cdot\left(\chi_{\left[-\frac{\pi}{r}-m\frac{2\pi}{r},-m\frac{2\pi}{r}\right]}(x)+\chi_{\left[-m\frac{2\pi}{r},\frac{\pi}{r}-m\frac{2\pi}{r}\right]}(x)\right)=$$

$$=\sum_{m=-\left[\frac{r}{2}\right]}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(S_n(x)\cdot\chi_{\left[-\frac{\pi}{r},0\right]}\left(x+m\frac{2\pi}{r}\right)+S_n(x)\cdot\chi_{\left[0,\frac{\pi}{r}\right]}\left(x+m\frac{2\pi}{r}\right)\right).$$

Покажем, что для каждого $m=-\left[\frac{r}{2}\right],...,\left[\frac{r-1}{2}\right]$ последовательность $S_n\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)$ сходится равномерно на $\left[-\frac{\pi}{r},-\varepsilon_m^{(1)}\right]$ и на $\left[\varepsilon_m^{(2)},\frac{\pi}{r}\right]$, где $\varepsilon_m^{(1)},\varepsilon_m^{(2)}>0$. Рассмотрим

$$S_{Mr}\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)=\frac{a_0}{2}+\sum_{k=1}^{r}\sum_{n=0}^{M-1}a_{k+nr}\left(\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\cos((k+nr)x)+\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sin((k+nr)x)\right).$$

Если $r-$ четное, то $\sin\left(\frac{r}{2}m\frac{2\pi}{r}\right)=0$. Разобьем диапазон изменения k на две части - от 1 до $\left[\frac{r-1}{2}\right]$ и от $\left[\frac{r}{2}\right]+1$ до $r-1$. Тогда

$$S_{Mr}\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)=\frac{a_0}{2}+\sum_{n=1}^{M}a_{nr}\cos(nrx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos(m\pi)\sum_{n=0}^{M-1}a_{nr+\left[\frac{r}{2}\right]}\cos\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{k+nr}\cos((k+nr)x)+\sum_{k=\left[\frac{r}{2}\right]+1}^{r-1}\cos\left(m\left(k\frac{2\pi}{r}-2\pi\right)\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{k+nr}\cos((k+nr)x)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{k+nr}\sin((k+nr)x)+\sum_{k=\left[\frac{r}{2}\right]+1}^{r-1}\sin\left(m\left(k\frac{2\pi}{r}-2\pi\right)\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{k+nr}\sin((k+nr)x)=$$

$$=\frac{a_0}{2}+\sum_{n=1}^{M}a_{nr}\cos(nrx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos(m\pi)\sum_{n=0}^{M-1}a_{nr+\left[\frac{r}{2}\right]}\cos\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\cdot$$

$$\cdot\sum_{n=0}^{M-1}(a_{k+nr}+a_{r-k+nr}-a_{r-k+nr})\cos((k+nr)x)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{r-k+nr}\cos((r-k+nr)x)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}(a_{k+nr}+a_{r-k+nr}-a_{r-k+nr})\sin((k+nr)x)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{r-k+nr}\sin((r-$$

$$-k+nr)x)=\frac{a_0}{2}+\sum_{n=1}^{M}a_{nr}\cos(nrx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos(m\pi)\sum_{n=0}^{M-1}a_{nr+\left[\frac{r}{2}\right]}\cos\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M}(a_{k+nr}+a_{r-k+nr})\cos((k+nr)x)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{r-k+nr}(\cos((r-k+$$

$$+nr)x)-\cos((k+nr)x)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}(a_{k+nr}-a_{r-k+nr})\sin((k+nr)x)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{r-k+nr}(\sin((r-k+nr)x)-\sin((k+nr)x).$$

Аналогичными рассуждениями можно получить представление

$$S_{Mr}(x-2\pi m/r)=\frac{a_0}{2}+\sum_{n=1}^{M}a_{nr}\cos(nrx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos(m\pi)\sum_{n=0}^{M-1}a_{nr+\left[\frac{r}{2}\right]}\cos\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=\left[\frac{r}{2}\right]+1}^{r-1}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M}(a_{k+nr}+a_{r-k+nr})\cos((k+nr)x)+\sum_{k=\left[\frac{r}{2}\right]+1}^{r-1}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{r-k+nr}(\cos((r-k+$$

$$+nr)x)-\cos((k+nr)x)+\sum_{k=\left[\frac{r}{2}\right]+1}^{r-1}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}(a_{k+nr}-a_{r-k+nr})\sin((k+nr)x)-$$

$$-\sum_{k=\left[\frac{r}{2}\right]+1}^{r-1}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{r-k+nr}(\sin((r-k+nr)x)-\sin((k+nr)x).$$

Тогда

$$2S_{Mr}\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)=2\frac{a_0}{2}+2\sum_{n=1}^{M}a_{nr}\cos(nrx)+2\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos(m\pi)\sum_{n=0}^{M-1}a_{nr+\left[\frac{r}{2}\right]}\cos\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+2\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{n=0}^{M-1}(a_{k+nr}+a_{r-k+nr})\cos\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+2\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{n=0}^{M-1}(a_{k+nr}-a_{r-k+nr})\sin\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right).$$

Пусть $\varepsilon>0$. Для данного m рассмотрим $\left[\varepsilon_m^{(2)},\frac{\pi}{r}\right]$. Возьмем $\varepsilon_1=\frac{\varepsilon\cdot\varepsilon_m^{(2)}}{12\pi}$. Для данного ε_1 найдется найдется натуральное число N_0 такое, что для всех $s>N_0$ будут справедливы неравенства $|a_s|<\varepsilon_1$,

$$\sum_{n=s}^{\infty}\left(|\Delta_{1,r}a_{rn}|+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot|\Delta_{1,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}|+\right.$$

$$\left.+sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(|\Delta_{1,r}(a_{rn+k}+a_{rn+r-k})|+|\Delta_{1,r}(a_{rn+k}-a_{rn+r-k})|\right)\right)<\varepsilon_1.$$

Пусть $M_0\in N$ такое, что $M_0\cdot r\geq N_0$, и любое число n такое, что $n\geq M_0\cdot r$. Его можно представить в виде как $n=(M_0+t)r+s$, где $t=0,1,2,...$, $s=0,1,...,r-1$. Возьмем целое $p\geq 0$. Его можно представить как $p=t_1r+s_1$, где $t_1=0,1,...$, $s_1=0,1,...,r-1$. Рассмотрим

$$S_n\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)=\frac{a_0}{2}+\sum_{l=1}^{(M_0+t)r+s}a_l\cos\left(l\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)\right)=$$

$$=\frac{a_0}{2}+\sum_{l=1}^{M_0+t}a_{nr}\cos(lrx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos(m\pi)\sum_{l=0}^{M_0+t-1}a_{lr+\left[\frac{r}{2}\right]}\cos\left((2l+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{l=0}^{M_0+t-1}(a_{k+lr}+a_{r-k+lr})\cos\left((2l+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{l=0}^{M_0+t-1}(a_{k+lr}-a_{r-k+lr})\sin\left((2l+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{l=(M_0+t)r+1}^{(M_0+t)r+s}a_l\cos\left(l\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)\right)=\sum_{l=(M_0+t)r+1}^{(M_0+t)r+s}a_l\cos\left(l\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)\right)+$$

$$+\sum_{l=0}^{M_0+t}\Delta_{1,r}a_{lr}B_l^1(rx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos m\pi\sum_{l=0}^{M_0+t-1}\Delta_{1,r}a_{(2l+1)\left[\frac{r}{2}\right]}BC_l^1\left(\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{l=0}^{M_0+t-1}\Delta_{1,r}(a_{k+lr}+a_{r-k+lr})BC_l^1\left(\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{l=0}^{M_0+t-1}\Delta_{1,r}(a_{k+lr}-a_{r-k+lr})\overline{BC}_l^1\left(\frac{rx}{2}\right)+a_{(M_0+t+1)}B_{M_0+t}^1(rx)+$$

$$+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot\cos m\pi\cdot a_{(2(M_0+t)+1)\left[\frac{r}{2}\right]}BC_{M_0+t-1}^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\cos\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)(a_{k+(M_0+t)r}+\right.$$

$$\left.+a_{r-k+(M_0+t)r})BC_{M_0+t-1}^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\sin\left(km\frac{2\pi}{r}+(2k-r)\frac{x}{2}\right)(a_{k+(M_0+t)r}-a_{r-k+(M_0+t)r})\overline{BC}_{M_0+t-1}^1\left(\frac{rx}{2}\right)\right),$$

$$S_{n+p}\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)=\sum_{l=(M_0+t+t_1)r+1}^{(M_0+t+t_1)r+s+s_1}a_l\cos\left(l\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)\right)+$$

$$+\sum_{l=0}^{M_0+t+t_1}\Delta_{1,r}a_{lr}B_l^1(rx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos m\pi\sum_{l=0}^{M_0+t+t_1-1}\Delta_{1,r}a_{(2l+1)\left[\frac{r}{2}\right]}BC_l^1\left(\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{l=0}^{M_0+t+t_1-1}\Delta_{1,r}(a_{k+lr}+a_{r-k+lr})BC_l^1\left(\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{l=0}^{M_0+t+t_1-1}\Delta_{1,r}(a_{k+lr}-a_{r-k+lr})\overline{BC}_l^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot\cos m\pi\cdot$$

$$\cdot a_{(2(M_0+t+t_1)+1)\left[\frac{r}{2}\right]}BC_{M_0+t+t_1-1}^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\cos\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)(a_{k+(M_0+t+t_1)r}+a_{r-k+(M_0+t+t_1)r})\cdot\right.$$

$$\left.\cdot BC_{M_0+t+t_1-1}^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\sin\left(km\frac{2\pi}{r}+(2k-r)\frac{x}{2}\right)(a_{k+(M_0+t+t_1)r}-a_{r-k+(M_0+t+t_1)r})\overline{BC}_{M_0+t+t_1-1}^1\left(\frac{rx}{2}\right)\right).$$

Применяя лемму 1, будем иметь

$$\left|S_{n+p}\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)-S_n\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)\right|\le\frac{\pi}{r\varepsilon_m^{(2)}}\left(\sum_{l=M_0+t+1}^{M_0+t+t_1}\left(\left|\Delta_{1,r}a_{lr}\right|+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\left|\Delta_{1,r}a_{(2l+1)\left[\frac{r}{2}\right]}\right|+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left|\Delta_{1,r}\left(a_{k+lr}+a_{r-k+lr}\right)\right|+\left|\Delta_{1,r}\left(a_{k+lr}-a_{r-k+lr}\right)\right|\right)+\sum_{l=(M_0+t+t_1)r+1}^{(M_0+t+t_1)r+s+s_1}|a_l|+|a_{(M_0+t+t_1+1)r}|+\left|a_{(M_0+t+1)r}\right|+\right.$$

$$+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\left(\left|a_{(2(M_0+t)+1)\left[\frac{r}{2}\right]}\right|+\left|a_{(2(M_0+t+t_1)+1)\left[\frac{r}{2}\right]}\right|\right)+\sum_{l=(M_0+t)r+1}^{(M_0+t)r+s_1}|a_l|+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\left|a_{k+M_0+t)r}\right|+\right.$$

$$\left.\left.+\left|a_{k+(M_0+t+t_1)r}\right|+\left|a_{r-k+(M_0+t)r}\right|+\left|a_{r-k+(M_0+t+t_1)r}\right|\right)\right)<\varepsilon.$$

Применяя лемму 2, получаем, что ряд равномерно сходится на указанном отрезке. Аналогично проверяется равномерная сходимость ряда на остальных отрезках. Отсюда следует, что ряд (1) сходится для почти всех x. Устремляя $n \to \infty$, получаем представление (3) для суммы ряда (1) для почти всех x. При $r = 1$ класс (OB_r) совпадает с классом (B), и можно использовать представление для $f(x)$ и $g(x)$ из [5]. При $r = 2$ представление для $f(x)$ и его доказательство существенно упрощаются. Сходимость и представление суммы для ряда (2) получается аналогично.

4. Замечания

Аналогично доказываются следующие утверждения.

I. *Пусть* $r \in N, l \in Z$. *Если последовательность* $\{a_n\}$ *удовлетворяет условию*

$$\lim_{n\to\infty} a_n = 0 \text{ и } \sum_{n=0}^{\infty}\left(|\Delta_{2,r}a_{rn}| + \left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot|\Delta_{2,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}| + sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(|\Delta_{2,r}(a_{rn+k}+a_{rn+r-k})|+|\Delta_{1,r}(a_{rn+k}-a_{rn+r-k})|\right)\right)<\infty,$$

то ряд (1) сходится для почти всех x *и функция* $f(x+l\frac{2\pi}{r})$ *(*$f(x)-$ *сумма ряда (1)) может быть представлена почти всюду в виде*

$$f\left(x+l\frac{2\pi}{r}\right)=\sum_{n=0}^{\infty}\left(\Delta_{2,r}a_{rn}\cdot B_n^2(rx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot\cos l\pi\cdot\Delta_{2,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}BC_n^2\left(\frac{rx}{2}\right)+ sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\cos\left(kl\frac{2\pi}{r}+(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{2,r}\left(a_{rn+k}+a_{rn+r-k}\right)\cdot BC_n^2\left(\frac{rx}{2}\right)-\sin\left(kl\frac{2\pi}{r}+(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{1,r}\left(a_{rn+k}-a_{rn+r-k}\right)\cdot\overline{BC}_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)\right)\right).$$

II. *Пусть* $r \in N, l \in Z$. *Если последовательность* $\{a_n\}$ *удовлетворяет условию*

$$\lim_{n\to\infty} a_n = 0 \text{ и } \sum_{n=0}^{\infty}\left(|\Delta_{1,r}a_{r(n+1)}| + \left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot|\Delta_{1,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}| + sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(|\Delta_{1,r}(a_{rn+k}+a_{rn+r-k})|+|\Delta_{2,r}(a_{rn+k}-a_{rn+r-k})|\right)\right)<\infty,$$

то ряд (2) сходится для почти всех x *и функция* $g(x+l\frac{2\pi}{r})$ *(*$g(x)-$ *сумма ряда (2)) может быть представлена почти всюду в виде*

$$g\left(x+l\frac{2\pi}{r}\right)=\sum_{n=0}^{\infty}\left(\Delta_{1,r}a_{r(n+1)}\cdot\overline{B}_{n+1}^2(rx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot\cos l\pi\cdot\Delta_{1,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}\overline{BC}_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)+ sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\cos\left(kl\frac{2\pi}{r}+(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{1,r}\left(a_{rn+k}+a_{rn+r-k}\right)\cdot\overline{BC}_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\sin\left(kl\frac{2\pi}{r}+(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{2,r}\left(a_{rn+k}-a_{rn+r-k}\right)\cdot BC_n^2\left(\frac{rx}{2}\right)\right)\right).$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тихонов, А. Н.* Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 736 с.

2. *Potapov, M. K.* On the interrelation of the generalized Besov – Nikol'skii and Weyl – Nikol'skii classes of functions / Simonov B. V. // Analysis Mathematica, 1996.- N 22. – P. 299-316.

3. *Potapov, M. K.* Relations for moduli of smoothness in various metrics: functions with restrictions of the Fourier coefficients / Simonov B.V, and Tikhonov S.Yu. // Jaen. J. Approx., 2009.- T. 1(2).- P. 205-222.

4. *Симонов, Б. В.* Соотношения между модулями гладкости в разных метриках / Б. В. Симонов, И. Э. Симонова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. научн. ст. № 8(111) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 16). – С. 34–38.

5. *Ульянов, П. Л.* Применение А-интегрирования к одному классу тригоно-метрических рядов / П. Л. Ульянов // Матем. сборник, 1954. – Т. 35(77), № 3. – С. 469–490.

6. *Зигмунд, А.* Тригонометрические ряды / А. Зигмунд. – Т. 1. – М.: Издательство Мир, 1965.

7. *Симонов, Б. В.* О рядах по синусам и косинусам в классах L_{φ} / / Б. В. Симонов // Известия вузов. Математика, 2013.– № 10. – С. 24–42.

8. *Кудрявцев, Л. Д.* Математический анализ / Л. Д. Кудрявцев. – Т. 1. – М.: Высшая школа,1973. – 616 с.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.932.2

А. В. Алексеев, В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова

ОКРАШИВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ГРАДАЦИЯХ СЕРОГО НА ОСНОВЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ*

Волгоградский государственный технический университет
alekseev.yeskela@gmail.com

В статье описан метод автоматизированного окрашивания изображений в градациях серого на основе индивидуальных предпочтений. Рассмотрены существующие аналоги, описана методика окрашивания, основные методы и обоснование их выбора, приведены основные результаты.

Ключевые слова: окрашивание изображений; распознавание образов.

A. V. Alekseev, V. L. Rozaliev, Y. A. Orlova

COLORIZE GRAYSCALE IMAGE BASED INDIVIDUAL PREFERENCES

Volgograd State Technical University

This paper describes an automated method for coloring grayscale images based individual preferences. The existing commands described staining technique, basic methods and rationale for their choice, presents the main results.

Keywords: colorize image; pattern recognition.

Проблема окрашивание черно-белых изображений на данный момент полностью не решена, это связано со многими сложностями: во-первых, при удалении цвета теряется информация, точно восстановить которую невозможно; во-вторых, необходимо решить задачу распознавания всех объектов на изображении, которая сейчас тоже не решена. [5,6] Кроме того, черно-белое изображение занимает втрое меньше дискового пространства, чем цветное, что позволяет при сохранении качества хранить втрое больше информации.

Актуальность работы обусловлена необходимостью сокращения затрат и времени при минимальных потерях качества.

Целью работы является повышение эффективности окрашивания изображений в градациях серого за счет автоматизации распознавания сигнатур изображения.

На данный момент существуют различные подходы к окрашиванию изображений в градациях серого, самый широко распространенный и качественный подход – ручное (с помощью графических редакторов) окрашивание, но у этого метода есть два больших недостатки: большие денежные и трудозатраты. Например, фильм (последовательность кадров, которые являются изображениями) «17 мгновений весны» был окрашен за три года, стоимость колоризации одной минуты составила 3000$.

Следующим подходом является промежуточный этап между ручным и полностью автоматизированным окрашиванием. Суть его состоит в том, что пользователь выделяет области на изображении и указывает их цвет, оттенки цвета определяются на основе яркости окрашиваемого изображения.

Наиболее перспективным является автоматизированное окрашивание изображений. Суть этого подхода заключается в том, чтобы либо уменьшить, либо вообще исключить вмешательство человека в процесс окрашивания. Существуют различные методы реализации, такие как окрашивание на основе регрессии гистограммы яркости, выбор типа изображения, окрашивание на основе выбранного цветного изображения [1, 3].

На данный момент уже существует ряд аналогов, их сравнение с разрабатываемой системой приведено в табл. 1.

* Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 12-07-00266, 12-07-00270).

Аналоги в табл. 1 работают с изображением как набором пикселей, не пытаясь определить, что находится на самом изображении, из-за этого на насыщенных цветом изображениях могут быть получены некорректные результаты [7].

Таблица 1

Существующие аналоги

Название	Вмешательство пользователя	Интеллектуальный анализ сцены	Метод окрашивания	Дополнительные входные данные
Система LIU Shi-Guang и др.	Нет	Нет	На основе регрессии гистограммы яркости	Сходное цветное изображение
Система Yogesh Rathore и др.	Нет	Нет	Метод Велша	Сходное цветное изображение (или из БД)
Система Luiz Filipe M. Vieira и др.	Нет	Нет	Метод Велша	Сходное цветное изображение (или из БД)
Recolored	Выделение областей и указание их цвета	Нет	Пользовательский ввод цвета	–
AKVIS coloriage	Выделение областей и указание их цвета	Нет	Пользовательский ввод цвета	–
Система А. Д. Варламова и др.	Указание типа изображения	Нет	Машинное обучение	–
Разрабатываемая система	Нет	Да	Модифицированный метод Велша	Сходное цветное изображение (или из БД)

Методика окрашивания

Окрашивание черно-белого изображения подразумевает замену скалярного значения каждого пиксела на вектор (например, значения красного, зеленого и синего цветов).

Весь процесс окрашивания делится на два основных этапа в соответствии с методикой разработки программного обеспечения предложенной в [4]: поиск основной цветовой гаммы изображения и поиск и окрашивание известных объектов (рис. 1) Данные этапы не связаны между собой и могут выполняться независимо, что позволяет уменьшить почти вдвое (за исключением процесса объединения результатов) время окрашивания.

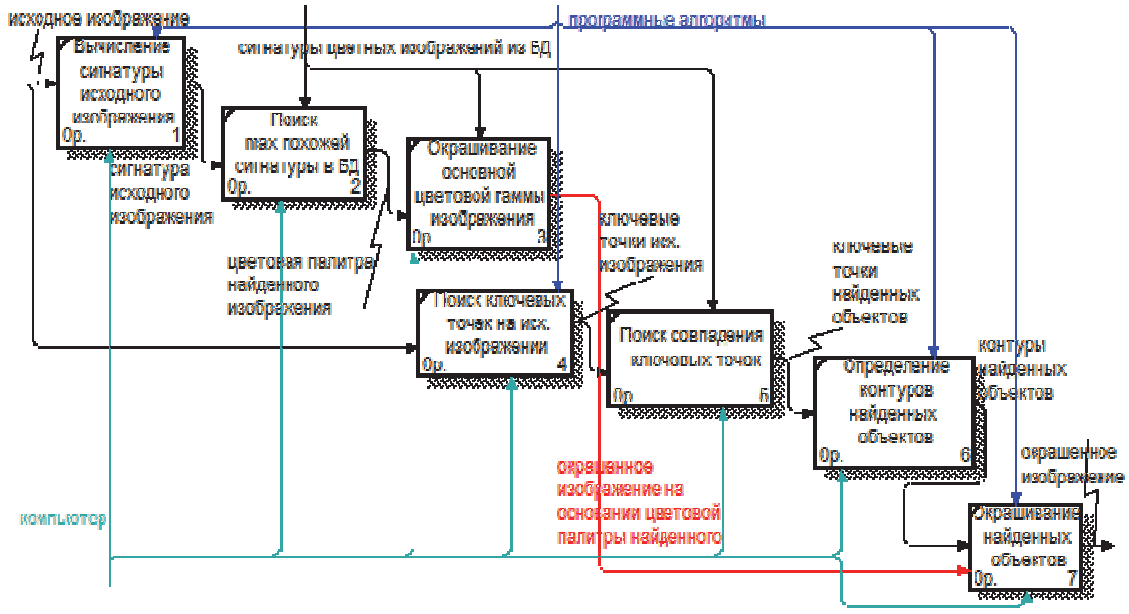


Рис. 1. Методика окрашивания

Определение основной цветовой гаммы изображения

Основная цветовая гамма изображения определяется путем сравнения сигнатуры входного изображения с сигнатурами изображений из базы данных. Сигнатура изображения показана на рис. 2. Это 128 значений с плавающей точкой, полученных из нормализованной к единице гистограммы яркости исходного изображения.

В работе [1] были проведены эксперименты для определения оптимального количества значений сигнатуры по критериям производительности и схожести с исходным изображением, 128 значений было выбрано как оптимальное.

В базе данных кроме сигнатуры хранится связанные с ней два канала цвета, полученные путем преобразования изображения в цветовую модель lab, каналы a и b.

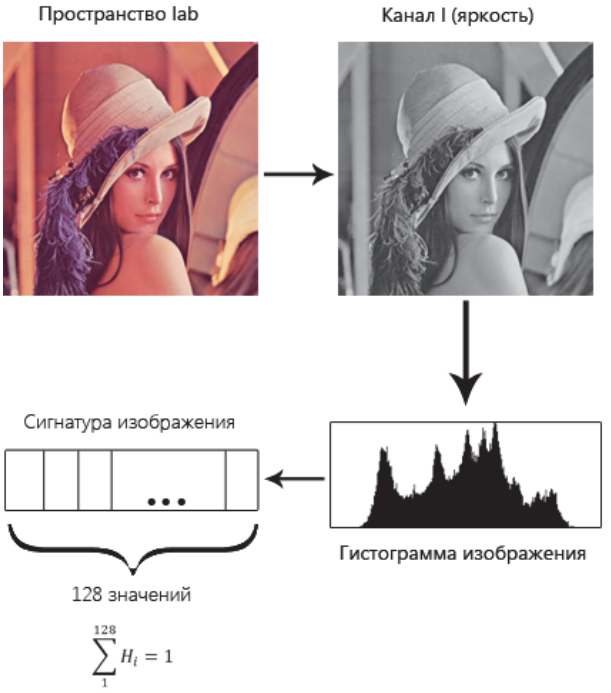


Рис. 2. Сигнатура изображения

Сигнатуры сравниваются корреляционным методом (1), он показал наиболее оптимальные результаты по сравнению с методами: хи-квадрата, пересечений, метода на основе расстояния Бхатачария.

$$d_{correl}(H_1, H_2) = \frac{\Sigma_i^N H_1'(i) * H_2'(i)}{\sqrt{\Sigma_i^N H_1'^2(i) * H_2'^2(i)}}, \quad (1)$$

где H_1 и H_2 – сравниваемые сигнатуры, N – количество значений сигнатур (у H_1 и H_2 одинаковое число значений),

$$H_k'(i) = H_k(i) - \left(\frac{1}{N}\right)\left(\sum_j^N H_k(j)\right) \quad (2)$$

Если $d_{correl} = 1$, то максимальное совпадение, -1 – максимальное различие, 0 – нет корреляции.

После выбора изображения цвет переносица с изображения-источника на целевое изображение с помощью модифицированного метода переноса цвета Велша. [2]

Модифицированный метод переноса цвета Велша.

Для повышения качества переноса цвета в исходном методе был изменен размер сетки.

Рис. 3. Модифицированный метод переноса цвета Велша

Результат работы модифицированного метода показан на рис. 3. Опишем шаги метода:

1. Канал l (модель lab) изображения-источника разбивается на 400 участков (сетка 20x20).

2. В каждом участке выбирается случайно один пиксель.

3. В его окрестности 5x5 вычисляется математическое ожидание и дисперсия.

4. Сравниваются математическое ожидание и дисперсия изображений

5. В случае близости значений цвет переносится на соответствующую окрестность с изображения-источника (каналы a и b).

Окрашивание объектов на изображении.

Методы распознавания основываются на двух ключевых признаках – цвете и форме объекта, в условиях задачи мы вынуждены отказаться от методов распознавания, основанных на цвете объекта.

Объекты на изображении будут локализоваться методом SURF, уточняться их границы будут с помощью поиска контуров и сравнения инвариантных Hu-моментов.

Опишем объект: Объект={K, P, C}, где: K – инвариантный Hu-момент контура объекта; P – ключевые точки объекта, полученные методом SURF; C – цветовая палитра объекта, соотношения цвета и яркости.

Заключение.

В данной статье был проведен обзор существующих аналогов для выявления их слабых и сильных сторон, на основе анализа было сформулировано направление работ.

Рассмотренный подход позволяет за счет окрашивания объектов на изображении повысить качество окрашивания изображений в градациях серого. Описанная методика позволяет этого добиться без увеличения времени обработки, благодаря независимости этапов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Vieira, L.F.M.* Fully automatic coloring of grayscale images/ L.F.M. Vieira, E.R.D. Nascimento, F.A.F. Jr., R.L. Carceroni, R.D. Vilela, A.D.A. Araújo, // Image Vision Comput., 2007, pp.50-60.

2. *Welsh, T.*, Ashikhmin, M. and Mueller, K., Transferring color to greyscale images, In: Proceedings of 29th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, ACM-SIGGRAPH2002, pp. 277- 280, ACM Press, New York, USA, 2002.

3. *Yogesh Rathore*, Colorization of Gray Scale Images using Fully Automated Approach / Yogesh Rathore, Avinash Dhole, Ramnivas Giri, Umesh Agrawal // IJECT Vol. 1, Issue 1., 2010.

4. Automated identification of human emotions based on analysis of body movements / Заболеева-Зотова А.В., Бобков А.С., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Половинкин А.И. // Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23-26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conferences Interfaces and Human Computer Interaction and Game and Entertainment Technologies 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 299-304.

5. Formalization of inital stage of designing multicomponent software / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Фоменков С.А., Петровский А.Б. // Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23-26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conference Intelligent Systems and Agents 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 107-111.

6. *Заболеева-Зотова, А.В.* Автоматизация начальных этапов проектирования программного обеспечения / *Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А* // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 6 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 8). – С. 121–124.

7. *Камаев, В. А.* Об одном нейросетевом подходе к идентификации сложных систем / В. А. Камаев, М. В. Щербаков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2004. – № 3. – С. 20–24.

8. Применение нечетких темпоральных высказываний для описания движений при эмоциональных реакциях / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев, А. С. Бобков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 3 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 10). – С. 60–64.

9. Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев, А. С. Бобков // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 59–62.

10. Автоматизация построения векторной модели тела человека / В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова, А. А. Шпирко, Н. С. Дорофеев // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – № 2, т. 9. – С. 102–106.

УДК 681.513.2:57.042/047:[620.9:005.93:502.174]::004

П. В. Ботвинкин

О МЕТОДАХ ЗАЩИТЫ ОТ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ФАКТОРОВ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Волгоградский государственный технический университет

pavel.botvinkin@gmail.com

В статье рассмотрены возможные неблагоприятные факторы, способные воздействовать на автоматизированные информационно-измерительные системы контроля и учета энергоресурсов; описаны основные методы защиты от них.

Ключевые слова: АСКУЭ, автоматизированные информационно-измерительные системы контроля и учета энергоресурсов, энергосбережение, защита оборудования, информационная безопасность.

P. V. Botvinkin

ABOUT METHODS OF PROTECTION FROM ADVERSE FACTORS THAT AFFECTING AUTOMATED INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS FOR CONTROL AND ENERGY RESOURCES ACCOUNTING

Volgograd State Technical University

The articlediscusses the possibleadversefactors that couldaffect theautomatedinformation-measuringsystems forcontrol andenergy resourcesaccounting, described the main methodsof protection against them.

Keywords: automatic meter reading, automated information and measurement systems for controland accounting of energy resources, energy saving, equipment protection, information security.

Процессы энергосбережения представляютсобоюреализацию правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии. Проблема энергосбережения многогранна и весьма актуальна. Для России она более чем актуальна, ибо энергоресурсы являются одним из основных источников жизнеобеспечения государства. Трудно переоценить значимость скорейшей реализации энергосберегающих стратегий для всех сфер жизни общества. [1]

АИИС КУЭ – автоматизированная информационно-измерительная система контроля и учета энергоресурсов, позволяющая осуществлять контроль за потреблением энергоресурсов, а также получать достоверные данные, на основании которых разрабатываются мероприятия по энергосбережению, – совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих дистанционный сбор, хранение и обработку данных об энергетических потоках.[2, 3]

Системы АИИСКУЭ являются важным звеном в регулировании энергетической отрасли России. От соответствия сведений, предоставляемых системами, требованиям достоверности и оперативности зависит эффективное функционирование как поставщиков, так и потребителей электроэнергии.[4]

При проектировании подобных систем необходимо принять во внимание следующие области знаний: разработка интеллектуальных систем, основанных на принципе функционирования биологических объектов, интеллектуальных систем управления, гибридных интеллектуальных систем, интеллектуальной обработки данных и извлечения знаний из данных (и аналогичных), эволюционных интеллектуальных систем. [5]

Наиболее важнымиаспектами функционирования электронно-измерительнойсистемы являются бесперебойность ее работы и точность показаний, получаемых с ее помощью.

Нарушение работоспособности автоматизированных систем, в том числе и по причине нарушения установленного режима защиты информации, может привести к серьезным последствиям.[6,7]

Проанализировав возможныенеблагоприятные факторы, можно выделить следующиенаправления защиты электронно-измерительных систем:

– защита от естественных природных факторов:климата, солнечного излучения, экстремальных температур, дождя, повышенной относительной влажности воздуха, повышенного давления, пыли, песка, молний;

– защита от биологических факторов: животных (насекомых, грызунов), грибков, плесени;

– защита от техногенных воздействий: перепадов напряжения, агрессивной окружающей среды, радиации;

– защита от злонамеренного человеческого вмешательства: механического воздействия, электрического и магнитного воздействия, информационная защита.

Рассмотрим подробнее перечисленные направления.

Естественные воздействия обусловлены совокупностью факторов (физических, химических, термобарических и прочих), способных оказывать прямое или косвенное немедленное или отдаленное воздействие на работоспособность и точность показанийАИИСКУЭ.

В настоящее время действующим является стандарт ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89) «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками», определяющий требования в части стойкости оболочек и электрооборудования в целом к внешним воздействующим факторам, а также методы и режимы контроля и испытаний для проверки оболочек электрооборудования на соответствие установленной степени защиты.

В стандарте [8] указываются степени защиты, обеспечиваемые оболочками.

Показатель защиты электроприборов (IP) состоит из двух цифр.Первая показывает защиту от проникновения твердых частиц внутрь конструкции: от нуля до шести. Вторая показывает защищенность от влаги: от нуля до восьми.

Наряду с показателями защиты от внешних воздействий существуют понятия климатического исполнения и категории размещения изделия. Климатическое исполнение показывает, в каком диапазоне температур эксплуатируется устройство.Категория размещения определяет ряд внешних факторов (например, влажность) в месте эксплуатации изделия.

Среди технических приспособлений для повышения защищенности внутренних компонентов узлов АИИСКУЭ от естественных природных факторов можно отметить, например, фильтры с магнитной обработкой воды [9]. Подобные фильтры позволяют отсеивать магнитящиеся фракции, содержащиеся в воде, проходящей через водяной счетчик, тем самым повышая его износостойкость и, как следствие, срок службы.

Повреждения кабелей, соединяющих узлы АИИС КУЭ, грызунами могут повлечь за собой серьезные последствия, вплоть до выхода всей системы из строя. Поврежденными могут оказаться кабели датчиков, электрические силовые кабели и кабели ЛВС.

Одним из старых методов является установка механических ловушек и отравленных приманок. Также популярным и достаточно эффективным методом борьбы с грызунами являются ультразвуковые отпугивающие приборы [10].

В настоящее время все чаще стали использоваться охранно-защитные дератизационные системы (ОЗДС). Блокирующие элементы ОЗДС – электрические барьеры, устанавливаемые на возможных путях миграции грызунов. На поверхности барьера располагается проводящая ток жила. Грызун, приблизившись к такому проводнику ближе чем на 2 сантиметра, испытывает боль от высоковольтного пробоя оставаясь при этом живым. Грызуны будут избегать повторений подобного удара всю оставшуюся жизнь и попытки проникнуть через барьер не предпримут. [11]

Также существует несколько патентов и разработок, направленных на защиту кабелей и проводов от грызунов, суть которых состоит в армировании оболочек кабелей с помощью различных материалов. Однако применение подобных решений на практике представляется более затратным по сравнению с перечисленными выше методами борьбы с грызунами.

Помимо вреда для кабелей и проводов, грызуны, наряду с насекомыми способны нанести вред проникновением внутрь электрических приборов, вызывая короткие замыкания и приводя к отказу электрических узлов системы.

Недопущение воздействия биологических факторов на работу любой системы, в том числе, и АИИС КУЭ, должно осуществляться на уровне организации или предприятия путем реализации необходимых мер и соблюдения действующих санитарно-эпидемиологических норм.

Устройства защиты приборов от перепадов напряжения предназначены для автоматического отключения напряжения при его изменении и автоматического включения через заданный промежуток времени после нормализации напряжения. Реле напряжения позволяет защитить электроприборы, подключенные к сети, от опасных для них перепадов напряжения. При всех недопустимых изменениях напряжения (снижении или повышении, как резком, так и постепенном) реле напряжения отключит

электроприборы от сети до тех пор, пока напряжение в сети не вернется в допустимые пределы [12].

Подобные приборы защиты от перепадов напряжения могут применяться для защиты отдельных узлов АИИС КУЭ от перепадов напряжения, вызванных как техногенными причинами, так и естественными (влияние молний на электросеть).

Самый простой способ защиты АИИС КУЭ от злонамеренного механического вмешательства со стороны человека – физическое ограничение доступа к местам размещения узлов системы, установка узлов в труднодоступных местах, защита помещений при помощи замков, установка компонентов в запирающиеся монтажные шкафы.

Однако не всегда эти меры способны предотвратить доступ к узлам злоумышленников. Например, конструктивные особенности счетчиков воды предполагают их подверженность к воздействию магнитным полем. Злоумышленник, используя обычный магнит, способен повлиять на показания такого счетчика.

Для защиты от магнитных воздействий обычно применяются специальные экранирующие кожухи, а чувствительные элементы прибора располагаются на максимально удаленном от кожуха расстоянии. Хорошо зарекомендовало себя опломбирование счетчика специальной капсулой с магнитной жидкостью. В случае воздействия магнитным полем на прибор, жидкость в капсуле смещается безвозвратно, а показания прибора с поврежденной таким образом пломбой считаются недействительными.

Еще одним способом вмешательства в целостность АИИС КУЭ является несанкционированное подключение к каналам связи между компонентами системы. Обычно таким каналом является проводная или беспроводная локальная вычислительная сеть.

Подключившись к локальной сети, в которой работают узлы АИИС КУЭ, злоумышленник получает возможность доступа к данным, передаваемым между этими узлами.

В случае беспроводной сети для повышения уровня безопасности должны использоваться устойчивые к взлому протоколы шифрования (например, WPA2).

В случае же проводной сети можно обеспечить контроль достоверности передаваемых от приемника к источнику данных, например, с помощью шифрования или электронной цифровой подписи.

Также возможна ситуация, когда злоумышленник получает доступ к данным извне. Этому неблагоприятному сценарию наиболее подвержены системы, имеющие клиент-серверную организацию, а также системы, предоставляющие доступ к информации через веб-интерфейсы.

Уязвимость системы увеличивается, если она предоставляет пользователю возможность удаленного доступа посредством интернета. В этом случае видится необходимым применение криптографических протоколов, обеспечивающих безопасность связи (например, SSL), ицифровой электронной подписи. Эффективным методом защиты также является ограничение доступа к серверной части системы посредством фильтрации клиентскихIP-адресов, например, средствами брандмауэра.

Попытки злонамеренного изменения показаний измерительных приборов и счетчиков, а также попытки получить несанкционированный доступ и любым образом повлиять на информацию, получаемую и передаваемую АИИС КУЭ, наказуемы в соответствии со статьей 159 Уголовного Кодекса РФ — «Мошенничество».

Данные об энергопотреблении могут иметь большую важность.Возьмем для примера случай, когда жилые помещения оборудованыизмерительной системой, являющейся частью «умного дома».Злоумышленник, получив доступ к информации извне, может определить, находится ли человек в помещении в определенный момент времени. Располагая подобными данными, злоумышленник может организовать проникновение внутрь жилища, когда владельца нет дома.

Если же такая система предоставляетвозможность управления через веб-интерфейс и не имеет должного уровня информационной защищенности, злоумышленник, получивнесанкционированный доступ, может нанести вред подконтрольным узлам системы.

Данные об энергопотреблении такжемогут отражать финансовое состояние хозяйствующего субъекта и представлять собой коммерческую тайну.

Кража подобной информации наказуема в соответствии со статьей 158 УК РФ – «Кража».

Защита АИИС КУЭ от неблагоприятных факторов и злонамеренного человеческого воздействия является актуальной и сложной задачей. Для обеспечения должного уровня защиты

необходим многогранный подход, в каждом конкретном случае зависящий от типа превалирующего неблагоприятного фактора. В общем виде задача защиты такой системы сводится к использованию специальных технических, технологических, программных, аппаратных и программно-аппаратных решений; к проведению комплекса мероприятий по соблюдению правоустанавливающих и законодательных норм и актов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ботвинкин, П. В*. Автоматическое управление параметрами потребления энергетических ресурсов на основе полученной статистической модели / П.В. Ботвинкин, В.С. Лукьянов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, No 4–4. – С. 1069–1071.

2. Особенности расчетов за электроэнергию (мощность) в 2012 году на розничном рынке электроэнергии и мощности (для группы «прочие потребители») [Электронный ресурс] : Электронная презентация ООО УК «МРГ-Инвест» / ООО УК «МРГ-Инвест». – Режим доступа: http://www.mrginvest.ru/toconsumer/presentations/rrem 2012.pdf – С. 18.

3. Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии [Электронный ресурс] : Материал из Википедии – свободной энциклопедии : Версия 56150044, сохраненная в 07:59 UTC 10 июня 2013 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон.дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2013. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/?oldid=56150044

4. *Жабин, С. А*. Вопросы информационной безопасности автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии / С. А. Жабин // Алгоритмы, методы и системы обработки данных, 2007. № 12. – С. 75–80.

5. *Камаев, В. А*. Интеллектуальные системы автоматизации управления энергосбережением /В. А. Камаев, М. В. Щербаков, А. Бребельс //Открытое образование, 2011. № 2–2. – С. 227–231.

6. *Камаев, В. А*. Анализ методов оценки качества функционирования и эффективности систем защиты информации на предприятиях электроэнергетики / В. А. Камаев, В. В. Натров // Известия ВолгГТУ : межву. сб. науч. ст. № 1 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – С. 74–76.

7. *Камаев, В. А*. Разработка и применение модели автоматизированной системы управления информационными процессами к задаче мониторинга состояния оборудования / В. А. Камаев, В. В. Лежебоков // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2009. № 9. – С. 18–22.

8. ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89). Степени защиты, обеспечиваемые оболочками.

9. *Асташонок, Г. Н.* Фильтры с магнитной обработкой воды / Г. Н. Асташонок // Энергоэффективность, 2003. № 4. – С. 10.

10. *Бахтырева, Н. Г*. Результаты исследования влияния на грызунов электрофизических методов / Н. Г. Бахтырева // Вестник ЧГАА, 2012. Т. 60. – С. 21–23.

11. Повреждения грызунами кабелей связи и меры защиты от них [Электронный ресурс] : Проектирование и монтаж охранно-защитных дератизационных систем. – Режим доступа: http://ozds.su/ssylki_ozds_i_kabeli.html

12. Устройства защиты электроприборов от перепадов напряжения [Электронный ресурс] : УКРРЕЛЕ / ООО «УКРРЕЛЕ». – Режим доступа: http://www.ukrrele.com/devices-protection.htm

УДК 004.37

В. И. Витехновский, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА*

Волгоградский государственный технический университет

vladimir.rozaliev@gmail.com

В работе предлагается комбинированный подход определения тональности текста. Текст анализируется методом машинного обучения с учителем и методом ключевых слов на основе тональных словарей. Результаты методов анализируются и комбинируются с целью получения конечного результата.

Ключевые слова: сентимент-анализ, определение тональности текста, информация.

V. I. Vitechnovskiy, Y. A. Orlova, V. L. Rozaliev

AUTOMATIC DETECTION OF TEXT TONE

Volgograd State Technical University

The paper proposes a combined approach of defining tone of the text. The text is analyzed using machine learning with the teacher and the method of keywords based on tonal dictionaries. The results are analyzed and methods are combined to produce the final result.

Keywords: sentiment analysis, the definition of key text, information.

В настоящее время активно развивается такие сферы жизни человека как обмен информации средствами сети Интернет. Увеличение количества социальных сетей, блогов, форумов, веб-ресурсов приводит к появлению таких задач, как анализ текстов пользователей по различным вопросам (отношения к событиям, от-

* Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 12-07-00266, 12-07-00270).

зывы о товарах, услугах, мнения о высказываниях, оценка пользователей по отношению к другим людям). [5]

Одной из основных проблем при анализе текста является сентимент-анализ. [2, 3] Сентимент-анализ, или анализ тональности текста, – это быстро развивающееся направление компьютерной лингвистики, основной задачей которого является выявление в документе эмоционально окрашенной лексики и эмоциональной оценки объектов автором. "Эмоциональная оценка, выраженная в тексте, также называется тональностью, или сентиментом текста" [1]. Трудности в этом процессе вызывает определение оценки автора отношения к объектам, описываемым в тексте. Под тональностью понимается эмоциональная оценка, негативное, позитивное или нейтральное отношение автора к некоторому объекту в тексте, которое может быть определено, как совокупность тональностей составляющих его лексических единиц и правилами их сочетания. [6, 7]

Целью данной работы является повышение качества определения тональности текста.

Для достижения поставленной цели были сформированы и частично решены следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методов определения тональности текста
2. Разработать и исследовать модель анализа тональности текста
3. Разработать метод, основанный на комбинированном подходе агрегации данных, полученных в результате определения тональности существующими методами
4. Разработать автоматизированную систему анализа тональности текста.

В данной работе были рассмотрены подходы определения тональности (таблица 1): на основе ключевых слов, на основе правил, определение методами машинного обучения с учителем, определение методами машинного обучения без учителя.

Таблица 1

Системы / Криткрии	Выполняется автоматически	Не требует наличие исходных данных	Высокая точность	Применимость к разным тематикам	Простота в применении
Подход, на основе правил	нет	нет	нет	да	да
Подход, на основе словарей	нет	нет	да	да	да
Подход, на основе машинного обучения с учителем	да	нет	да	да	нет
Подход, на основе машинного обучения без учителя	да	да	нет	нет	да

Каждый подход обладает своими недостатками: высокие требования к обучающей коллекции данных в подходе, основанном на машинном обучении с учителем, точность определения тональности слов в словарях, отнесение текста к той или иной тематике для применения правил тональности.

Также были рассмотрены системы, решающие задачу определения тональности текстов на русском языке [5].

Таблица 2

Системы / Криткрии	Выделение субъектов и объектов	Оценка колличественной оценки текста	Учитывает семантику русского языка	Применимость к различным тематикам
Компонент определения тональности	да	нет	да	да
SentiStrength	нет	да	нет	да
ВААЛ	да	да	нет	нет
RCO Fact Extractor	да	нет	да	нет

Все системы применяют в работе тот или иной подход определения тональности. С учетом выявленных особенностей, в работе было принято решение использовать комбинированный подход определения тональности текста, который основан на методе машинного обучения с учителем и методе ключевых слов с использованием тональных словарей. Гипотеза

работы состоит в том, что комбинированный подход, основанный на агрегации данных, полученных в результате определения тональности методами машинного обучения и методом ключевых слов, обладает более высокой точностью по сравнению с существующими подходами.

Общий алгоритм семантического анализа текста состоит из следующих блоков [3]: предварительная обработки текста, синтаксический и семантический анализ и построение моделей программного обеспечения.

Предварительная обработка текста осуществляется с использованием аппарата конечных автоматов. На выходе алгоритма предварительной обработки текста имеется набор таблиц: таблицы разделов, предложений и лексем. [2]

В ходе работы конечного автомата символы, поступающие на его вход, накапливаются в буфере. В определенных состояниях конечного автомата осуществляется запись текущего содержимого буфера в одну из таблиц, после чего буфер опустошается. Работа автомата продолжается до достижения конечного состояния.

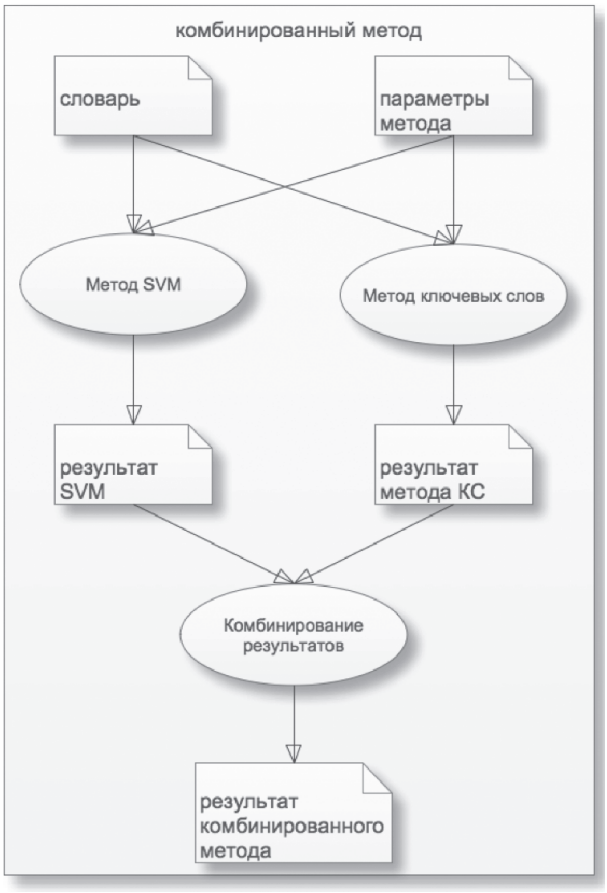
На этапе формирования словаря происходит выделение общих признаков для этого текста: выделение слов и словосочетаний, которые встречаются в тексте более 3 раз, считаются признаками словаря.

На этапе взвешивания для каждого признака из словаря вычисляется и сохраняется глобальный вес, определяющий значимость признака для решения задачи анализа тональности. [8]

На следующем этапе формируется векторная модель текстов для дальнейшего обучения SVM-классификатора. В векторной модели текст представляется в виде вектора, количество компонентов N которого совпадает с количеством признаков в словаре. Каждый компонент является весом соответствующего признака в данном тексте. Для вычисления весов используется подход TF.IDF.

Этап обучения SVM–классификатора – построение в N-мерном пространстве признаков гиперплоскости, каждая из которых разделяет векторы двух классов. [4]

На этапе настройки параметров происходит поиск оптимальных параметров для метода ключевых слов и для алгоритма комбинирования результатов классификации. Процесс комбинирования результатов представлен на рисунке.



Процесс комбинирования результатов двух методов

Результаты методов комбинируются по разработанному алгоритму, который позволяет избежать конфликтов при сравнении результатов.

Разработанный метод определения тональности дает высокие показатели качества. Точность и полнота определения устанавливается на основе оценки экспертов.

Результаты работы могут быть применены в следующих областях: маркетинговые исследования, реклама, оценка сотрудников кадровыми службами, в области политтехнологии и других.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Pang B., Lee L.,* Vaithyanathan S. Thumbs up? Sentiment classification using machine learning techniques // Proceedings of EMNLP-02, the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Association for Computational Linguistics, Philadelphia, US, 2002, pp. 79–86.

2. Automated identification of human emotions based on analysis of body movements / Заболеева-Зотова А.В., Бобков А.С., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Половинкин А.И. // Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23-26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conferences Interfaces and Human Computer Interaction and Game and Entertainment Technologies 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 299-304.

3. Formalization of inital stage of designing multi-component software / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Фоменков С.А., Петровский А.Б. // Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23-26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conference Intelligent Systems and Agents 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 107-111.

4. *Заболеева-Зотова, А. В.* Моделирование лексического анализа текста технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 2 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 2. – С. 50–53.

5. *Заболеева-Зотова, А. В.* Автоматизация процедур семантического анализа текста технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 3). – С. 52–55.

6. *Орлова, Ю. А.* Анализ и оценка эмоциональных реакций пользователя при речевом взаимодействии с автоматизированной системой / Орлова Ю.А., Розалиев В.Л. // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 83–85.

7. *Орлова, Ю. А.* Обзор современных автоматизированных систем распознавания эмоциональных реакций человека / Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 3 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 10). – С. 68–72.

8. *Пазельская А., Соловьев А.* Метод определения эмоций в текстах на русском языке: труды международной конференции "Диалог, 2011". Р. 510–522

9. Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Бобков А.С. // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 59–62.

10. *Сокирко, А. В.* Семантические словари в автоматической обработке текста // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: М. 2001.

УДК 678.67.017; 519.682

Е. В. Дербишер, Д. С. Патракеев, В. Е. Дербишер

ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ОЦЕНОК ПРИ УПРАВЛЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Волгоградский государственный технический университет

derbisher2@vstu.ru

В статье рассмотрены методы обработки и анализа результатов исследований по оценке свойств материалов, позволяющие решать задачи планирования научно-технологического эксперимента и принятия решений при их проектировании и выборе.

Ключевые слова: ранжирование, геометрический анализ, нечеткие множества, свойства резин.

E. V. Derbisher, D. S. Patrakeev, V. E. Derbisher

APPLICATION OF CRITERIA ESTIMATES AT MANAGEMENT OF COMPOSITE MATERIALS

Volgograd State Technical University

In article methods of processing and the analysis of results of researches on an assessment of properties of the materials, allowing to solve problems of planning of scientific and technological experiment and decision-making at their design and a choice are considered.

Keywords: ranking, geometric analysis, fuzzy sets, rubber properties.

Разработка критериев оценки композиционных материалов в частности полимерных (ПКМ) с заданными свойствами, относится к задачам системного анализа, предназначенным для количественной поддержки принятия решений, например при проектировании этих материалов, продвижений их на технологический рынок и т.д. Учитывая, что факторное пространство, описывающее свойства ПКМ включает десятки параметров, в ряде случаев можно оперировать интегральными оценками и обобщенными закономерностями, которые могут сократить время аналитика при выработке стратегии проектирования ПКМ.

В возможных случаях эти закономерности представляются регрессионными зависимостями [1, 2] или представляются в табличной форме, что оказывается недостаточным для стратегических выводов. За примерами далеко ходить не надо – укажем лишь на ряд попыток получить интегральные оценки, представленных в работах [1,3].

Рассмотрим наши предложения и интегральные показатели на выборочных примерах. Так, в работе [4] приведена таблица результирующая свойства таких ПКМ как вулканизаты, которые получаются из резиновых смесей (табл. 1).

Таблица 1

Выборочные свойства вулканизатов [3]

Показатель	Смесь									
	01	02	03	04	1	2	3	4	5	6
Твердость по Шору А, усл. ед.	61	67	65	63	62	64	66	66	68	68
Эластичность по отскоку, %										
при 20°С	12	12	31	32	36	31	29	32	30	28
при 100°С	62	55	49	48	49	47	46	50	48	45
Условное напряжение при удлинении, МПа										
при 100%	–	–	3,5	2,9	3,3	3,1	2,7	2,6	3,9	3,3
при 200%	–	–	9,0	6,8	9,3	8,0	6,9	6,8	12,4	9,3
при 300%	15,1	16,1	17,1	12,6	18,0	15,5	13,2	12,7	–	17,4
Условная прочность при растяжении, МПа	19,0	16,1	17,9	16,3	18,0	18,2	20,6	17,1	18,9	20,2
Относительное удлинение при разрыве, %	339	292	309	363	297	334	405	374	260	341
Сопротивление раздиру, кН/м	32,8	42,7	38,0	43,9	37,7	44,6	43,6	49,7	38,0	45,7
Сопротивление разрастанию трещин, тыс. циклов	–	–	–	–	9,50	16,20	20,25	50,00	5,40	5,40
Истираемость, $м^3$/ТДж	–	–	–	–	109	90	126	89	106	112
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом×м	–	–	–	–	262,0	1,5	1,3	5,6	7,0	2,4
Работа разрушения, МДж/$м^3$	–	–	–	–	17,1	20,0	20,9	21,6	20,0	30,2
Относительный гистерезис, %	11,9	16,3	19,8	21,0	17,1	19,9	20,9	21,6	12,7	16,9

Резиновые смеси включают в себя следующие ингредиенты: каучук SE SLR-4400, каучук SE SLR-4601, стеариновую кислоту, сульфенамид Ц, оксид цинка, лапрамол 294, ТУ N220 (исходный, с нанесенным лапрамолом, модифицированный), серу. Регулируя состав можно управлять свойствами ПКМ. Здесь в качестве свойства может выступать интегральный показатель.

Другая работа [5] содержит основную информацию о свойствах резин (вулканизатов) в виде следующей таблицы (табл. 2).

Таблица 2

Выборочные свойства кабельных резин [5]

Показатель	Марка смеси				
	К-69	К-69Т	К-1520	К-673	Силикон 300/60Б
Внешний вид, цвет	Белый	Белый	Белый	Белый	Белый
Твердость по Шору А, усл. ед.	60-68	54-66	50-58	58-68	60-68
Условная прочность при растяжении, МПа	7,6-8,8	7,0-8,2	7,6-8,8	7,3-8,4	7,5-9,0
Относительное удлинение при разрыве, %	310-480	310-600	350-550	300-420	380-450
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом×см, $\times 10^{-14}$	5	5	5	5	5
Электрическая прочность, кВ/мм	20-22	20-22	20-22	20-22	20-22
Диэлектрическая проницаемость, не более	3,5	4,0	3,5	3,5	3,5
Тангенс угла диэлектрических потерь, не более	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

Изучая содержание таблиц, почти невозможно сказать какой состав лучше, а главное – в каком исследовательском направлении двигаться. В то же время ранее некоторые из авторов данной статьи показали [6], что если применить ряд последних достижений в области системного анализа, например, прикладное использование нечетких множеств (НМ), можно выявить интегральные закономерности и произвести управленческие дополнительные при создании ПКМ с заданными свойствами.

Напомним, что математическая сущность этого метода заключается в преобразовании данных в НМ; применительно к тематике данной статьи: $S = \{s_i | i = \overline{1,n}\}$ – множество, состоящее из n образцов резинотехнических изделий. Для каждого si образца задано m характеристик Qij, $j = \overline{1,m}$. По данным таблицы 1 m = 11, а по данным табл. 2 m = 7. Выделяется эталон s0 и его характеристики Q0j, и проводится ранжирование по отношению к нему.

Для вычислений в данной работе применялась функция принадлежности [7] следующего вида:

$$exp\left(-\frac{ln2}{\delta_{ij}^2}(x_{ij} - q_{ij})^2\right), i = \overline{0,n}, j = \overline{1,m},$$

где qij - середина отрезка; δij – радиус отрезка; xij – переменная с областью значения Gj.

Можно указать также, что для операций с НМ имеется разработанный одним из авторов программный продукт [8], который упрощает вычисления.

Представим табл. 1 в следующем виде (см. табл. 3).

Таблица 3

Свойства вулканизатов (исходные данные для расчетов)

№ параметра (j)	Физико-механические свойства	Смесь, (i)									
		01	02	03	04	1	2	3	4	5	6
1	Твердость по Шору А, усл. ед.	61	67	65	63	62	64	66	66	68	68
2	Эластичность по отскоку при 100°С, %	62	55	49	48	49	47	46	50	48	45
3	Условное напряжение при удлинение 200%, МПа	(9,6)	(9,6)	9,0	6,8	9,3	8,0	6,9	6,8	12,4	9,3
4	Условная прочность при растяжении, МПа	19,0	16,1	17,9	16,3	18,0	18,2	20,6	17,1	18,9	20,2
5	Относительное удлинение при разрыве, %	339	292	309	363	297	334	405	374	260	341
6	Сопротивление раздиру, кН/м	32,8	42,7	38,0	43,9	37,7	44,6	43,6	49,7	38,0	45,7
7	Сопротивление разрастанию трещин, тыс. циклов	(27,70)	(27,70)	(27,70)	(27,70)	9,50	16,20	20,25	50,00	5,40	5,40
8	Истираемость, $м^3$/ТДж	(107,5)	(107,5)	(107,5)	(107,5)	109,0	90,0	126,0	89,0	106,0	112,0
9	Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом×м	(131,65)	(131,65)	(131,65)	(131,65)	262,00	1,50	1,30	5,60	7,00	2,40
10	Работа разрушения, МДж/$м^3$	(23,65)	(23,65)	(23,65)	(23,65)	17,10	20,00	20,90	21,60	20,00	30,20
11	Относительный гистерезис, %	11,9	16,3	19,8	21,0	17,1	19,9	20,9	21,6	12,7	16,9

Проведя ранжирование десяти составов резиновых смесей по 11 параметрам (табл. 1), получили результаты, которые представлены в табл. 4. Результатом расчета в этом случае является интегральная оценка vi («ранг») и вулканизаты в соответствии с их обозначением можно расположить в порядке убывания ранга: 3; 6; 01; 02; 4; 04; 03; 1; 2; 5.

В тоже время этот метод обладает некоторыми особенностями, и дает лучшие результаты при большом объеме выборки.

Для более простых случаев нами разработана упрощенная методика обработки табличных данных, основанная на применении к ним линейного преобразования, в результате которого размах изменений (aj) у всех параметров оказывается одинакового порядка от 0 до 1.:

$$aj = Mj - mj,$$

где mj – минимальное значение j-того параметра, Mj – максимальное значение j-того параметра.

В этом случае абсолютное и относительное изменение значений параметров совпадают. С точки зрения пространственных представлений после преобразования область исходных данных представляет собой m-мерный куб в пространстве Rm, ограниченный минимальными (mj) и максимальными (Mj) значениями преобразованных параметров. Далее проведя соответствующие подстановки получаем:

$$x_j' = \frac{x_j - m_j}{a_j}, j = \overline{1, m},$$

и производим вычисление интегрального показателя q [9]. Для выводов основанием является отнесение q, к той или иной области G разбиения куба.

Для примера проведем вычисление q по данным табл. 3 на примере вулканизата 01:

a01 = 68-61=7; x1'=(61-61)/7=0, x2'=1,00, x3'=0,50, x4'=0,64, x5'=0,54, x6'=0, x7'=0,50, x8'=0,50, x9'=0,50, x10'=0,50, x11'=0.

В итоге вычислений обобщающий интегральный показатель свойства вулканизата будет равен:

q = 12+0,502+0,642+0,542+0,502+0,502 + +0,502+0,552 = 2,97.

Результаты вычислений по всем 10 смесям расположим в порядке убывания значений q (ранга): 3; 6; 4; 01; 02; 04; 5; 03; 1; 2.

В табл. 4 приведены итоговые показатели ранжирования резин. Проанализировав и сравнив значения, полученные этими методами и представленные в таблице 4, выделяем вулканизаты, которые более предпочтительны для дальнейшего анализа и возможного продвижения в технологию это: 3; 6; 4; 01.

Таблица 4

Ранжирование вулканизатов с использованием интегральных показателей

Интегральный показатель		Обозначение вулканизата по табл. 1									
		01	02	03	04	1	2	3	4	5	6
Табл. 1	Ранг (ν_i)	0,79	0,78	0,74	0,76	0,74	0,73	0,83	0,78	0,72	0,82
	q	2,97	2,94	2,57	2,93	2,20	1,97	4,96	4,37	2,78	4,57
Интегральный показатель		Марка смеси по табл. 2									
		К-69		К-69 Т		К-1520		К-673		Силикон 300/60Б	
Табл. 2	q	1,99		2,36		1,75		0,87		2,34	
	НМ	0,95		0,97		0,91		0,95		0,97	

Следует отметить, что оба метода дают приблизительно одинаковые результаты ранжирования, а различия следует списать на некоторые особенности и допущения используемых методик. Так в случае использования нечетких множеств, можно придать параметрам ПКМ соответствующий вес (например, на основе экспертных оценок, тенденций технологического рынка, маркетинга и т. д.) и провести расчеты с учетом наиболее важных по мнению экспертов показателей, тогда ранжирование ПКМ может несколько сместиться. В другом случае следует учесть, что каждый из параметров Qj должен соответствовать принятому стандарту или заданному значению. Для более корректного принятия решения с использованием ранговых оценок лучше пользоваться сразу несколькими методами, с одновременным учетов мнений специалистов.

Для подтверждения сказанного в таблице 4 приводим также результаты ранжирования кабельных резин (таблица 2).

Здесь следует обратить внимание на следующие марки смесей: К-69Т; Силикон 300/60Б; К-69.

Мы считаем, что предлагаемые методики открывают новые возможности обработки эмпирических данных и позволяют решать некоторые задачи планирования научно-технологического эксперимента и принятия решений при выборе перспективных (с заданными свойствами) ПКМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Химия и технология полимерных пленочных материалов и искусственной кожи. Ч. 2 / Под ред. Г. П. Андриановой. М.: Легпромбытиздат. – 1991. – 384 с.

2. Демиденко, Е. З. Линейная и нелинейная регрессия / Е. З. Демиденко. – М.: Финансы и статистика. – 2001. – 290 с.

3. *Шабалина, С. Г.* Прогнозирование свойств полимерсодержащих теплоаккумулирующих материалов / С. Г. Шабалина, В. Н. Данилин / Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 2(50) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Химия и технология элементорганических мономеров и полимерных материалов» ; вып. 6). – С. 108–113.

4. Влияние модификации технического углерода на свойства резин Корнев Ю. В.[и др.]. – Каучук и резина.– 2008. – № 1. – С. 14–20.

5. Силиконовые кабельные резиновые смеси, выпускаемые ОАО «Казанский завод синтетического каучука» / Михайлова Г. А., Бабурина В. А., Калмыкова В. Я., Борисоглебский С. В. // Каучук и резина. 2008.–№ 1.– С. 5–9.

6. *Гермашев, И. В*. Решение задач в химической технологии средствами нечетких множеств / И. В. Гермашев, В. Е. Дербишер, - Волгоград: Изд-во ВГПУ «Перемена».- 2008.- 143 с.

7. *Гермашев, И. В*. Свойства унимодальных функций принадлежности в операциях с нечеткими множествами / Гермашев И.В., Дербишер В.Е. // Изв. вузов. Математика. – 2007. – №3. – С. 77–80.

8. *Гермашев, И. В*. Оценка качества технического объекта в условиях неопределенности / И. В. Гермашев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008612198. – 2008.

9. *Коляганова, О. В*. Методика обработки данных для комплексной оценки качества товарной продукции / Коляганова О.В., Гермашев И.В., Дербишер В.Е. // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-23 : сб. тр. XXIII междунар. науч. конф. В 12 т. Т. 11 (секции 12, 13) / Саратов. гос. техн. ун–т [и др.]. – Саратов.– 2010. - С. 185-187.

УДК 658.5 : 658.58 : 65.011.4

А. В. Кизим

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

kizim@mail.ru

В статье проанализированы основные элементы комплексного методологического подхода к решению задач организации программной, информационной и методической поддержки технического обслуживания и ремонта производственного оборудования. Описаны основные задачи организации ТОиР оборудования и способы их решения, элементы свода знаний организации ТОиР.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт; ТОиР; оборудование; основные производственные фонды; методики ТОиР; методология ТОиР; программная, информационная и методическая поддержка; системный подход; эффективность; показатели эффективности; ключевые показатели эффективности; затраты на жизненный цикл оборудования; интеллектуальные агенты; базы знаний; онтологии.

A. V. Kizim

COMPLEX METHODOLOGICAL APPROACH TO SOLVING TASKS OF EQUIPMENT MAINTENANCE AND REPAIR SUPPORT

Volgograd State Technical University

In this paper main elements of complex methodological approach to solving of program, informational and methodical equipment maintenance and repair organization (MRO) support tasks were analyzed.

Main MRO tasks and it`s solving manners and also elements of maintenance and repair body of knowledge (M&R BOK) were described.

Keywords: Repair and maintenance; Repair and maintenance organization (MRO); facility; assets; MRO methodic; program, informational and methodical support; system approach; efficiency; key performance indicators (KPI); equipment life cycle cost; intelligence agents; knowledge bases; ontology.

Введение

Производительность любого предприятия напрямую зависит от работоспособности его оборудования. Бесперебойное функционирование оборудования обеспечивают механические службы предприятия или специализированные контрактные сервисные организации. Работоспособность оборудования обеспечивается за счет качественного, своевременного и безопасного проведения технического обслуживания и ремонта оборудования (ТОиР) при рациональном использовании ресурсов.

Для эффективного ведения процессов ТОиР может быть использован набор видов обеспечения: методическое, математическое, программное, информационное, организационное, технологическое и прочие [1]. Для автоматизации процессов ТОиР используют специализированные программно-информационные системы классов ERP (Enterprise Resource Planning), EAM-системы (Enterprise Asset Management) или CMMS (Computerized Maintenance Management System), в зависимости от масштаба задач.

К сожалению, ни одна программная система поддержки ТОиР не обладает на 100% всеми возможностями, которые необходимы конечному пользователю. Современная конкурентная среда обладает изменчивостью. Для конкурентоспособности предприятие должно постоянно искать способы снижения издержек и повышения производительности. Одним из таких средств является рациональная организация ТОиР.

В данной работе показаны основные элементы организации эффективного ТОиР оборудования предприятий на основе системного подхода, полученные на основании многолетнего опыта разработки и внедрения программных систем поддержки ТОиР. Совмещение научной, преподавательской деятельности и деятельности по руководству коллективом разработчиков программного обеспечения для ТОиР позволило получить предложения по организации программно-информационной и методической поддержки ТОиР [1, 2], которые названы “Свод знаний ТОиР” Body of Knowledge (M&R BOK).

Пути повышения эффективности тоир

В любой области исследований применение системного подхода дает более сильный эффект, нежели частные решения. При этом достигаются более эффективные решения задач, достигается синергетический эффект [2]. С позиций методов системного анализа разработан набор инструментов для организации всесторонней поддержки эксплуатации и ТОиР оборудования.

В области научной поддержки организации работ по ТОиР можно выделить следующие основные проблемы организации эффективного проведения ТОиР: использование рациональных стратегий ТОиР, минимизирующих производственные потери и эксплуатационные затраты на всем жизненном цикле оборудования; оптимизация ресурсов для проведения ТОиР; эффективное управление службами ТОиР предприятия, а также автономным ремонтно-сервисным предприятием, повышающие их рентабельность и КЭИО (задачи управления ремонтным предприятием или подразделением, организации работ, оценки и повышения эффективности работы служб ТОиР, контроля работ, составления производственной программы); определение превентивных воздействий, предотвращающих появление отказов и повышающих надежность оборудования (выбор вида и порядка осуществления ТОиР: задачи поддержки принятия решений, планирования; определение момента проведения работ по ТОиР: мониторинг состояния оборудования и прогнозирование его отказов). Многие из выделенных задач имеют решение, применимое при поддержке служб ТОиР, но не все из них решены в полной мере, и для повышения конкурентоспособности предприятий необходимо уделить им особое внимание.

Согласно [3], путем применения научно обоснованной организации ТОиР возможно достижение таких эффектов, как: сокращение числа отказов, времени простоя оборудования, затрат на эксплуатацию; увеличение срока службы, надежности и производительности оборудования.

В начале проекта автоматизации ТОиР необходимо провести выделение субъектов, влияющих на эффективность ТОиР, а затем – провести их интервьюирование, чтобы выявить проблемы, которые их волнуют и лучше понять существующее положение дел. Правильное понимание потребности клиента всегда дает гораздо более существенный результат, чем при отсутствии обратной связи. Для получения существующего положения дел необходимо провести исследование состояния применяемого на предприятии комплекса организационных, технических, технологических, социальных и прочих механизмов ТОиР. При этом формализацию процесса ТОиР можно проводить с помощью функциональных и бизнес моделей, например IDEF “as-is” [4], BPML и etc. При этом производится формализация состава и связей, элементов процессов, декомпозиция функциональных блоков, выявление входных и выходных информационных, вещественных энергетических потоков, а также состав влияющих на процесс субъектов, методических и организационных правил. Полученная информация сводится в единую информационную модель процесса ТОиР.

Далее производится анализ полученной модели процесса с целью выявления слабых мест и перспектив повышения эффективности процесса ТОиР. Производится постановка задачи улучшений, одна часть из которых являются ограниченными по времени с помощью сроков, а другая – постоянными. Задачи должны быть зафиксированы. Один из способов описания постановки задач – использование механизма целей [5].

В дальнейшем определяются подходящие инструменты достижения поставленных целей, а также способы контроля, измерения и оценивания показателей их достижения. В качестве инструментов могут применяться как локальные алгоритмы и методы решения таких задач, как: оптимизация отдельных показателей, поддержка принятия управленческих решений (для повышения степени адекватности принятия решений), повышение надежности отдельного узла или агрегата; - так и комплексные методы и подходы организации поддержки ТОиР.

Также в большинстве случаев заказчики ставят оптимизационную задачу сокращения издержек на организацию и проведение ТОиР при одновременном повышении степени отдачи и эффективности эксплуатации оборудования.

Использование целей и показателей для повышения эффективности процесса тоир

Для выстраивания системного подхода при организации ТОиР необходимо сформулировать иерархию целей, которые необходимы для достижения глобальной цели – повышение конкурентоспособности предприятия. Необходимо иметь возможность мониторинга и анализа эффективности ТОиР с помощью показателей эффективности работы. Для понимания текущего уровня эффективности ТОиР, а также степени достижения поставленных целей и направления дальнейшего их развития и совершенствования, необходимо применять специальные метрики, например ключевые показатели эффективности, которые объединяются в сбалансированные системы показателей [6]. На основании иерархии целей строится система ключевых показателей эффективности (КПЭ или KPI) отражающих текущее положение и уровень достижения сформулированных целей.

Источником данных для построения KPI является понимание уровня эффективности работ по ТОиР оборудования на предприятии, что требует проведения анализа оценок эффективности работ. Оценка эффективности (ОЭ) работ выражается как в количественных (например, часов непрерывной работы, или up-time), так и в качественных показателях (например, % выполнения плана). Если компания применяет практику постоянного совершенствования ТОиР, необходимо определять не только ОЭ самих работ ТОиР, но и методов их оптимизации, которая выражается в относительных показателях (например, насколько быстрее стали поводиться ремонтные работы, насколько увеличилось время up-time). Затем ОЭ выражаются в ключевых показателях эффективности KPI.

Развивая теоретико-множественную модель из [7], КПЭ можно описать как:

$$P=<N,A,Tp,U,P,B,GV,Tr,F,G>,$$

де N –наименование показателя, A - область применения (объект, субъект или процесс ТОиР); Tp – тип показателя: T={Количественный, качественный(лингвистический)}, U – единица измерения значений показателя, P – периодичность (частота измерений (мониторинга) значений показателя во времени) P={Нет; День; Неделя; Месяц; Квартал; Полугодие; Год}, B – предельные значения, GV – (Goal Value) целевое значение показателя; Tr-тренд (максимизация, минимизация, постоянство); F – (formula) выражение, содержащее имена показателей, числовые значения, операции; G – (Goal) ассоциированные цели, степень достижения которых измеряет показатель.

Для расчета значений KPI требуются данные о происходящих событиях, связанных с характеристиками процесса ТОиР и состояния оборудования на предприятии, что требует применения организации автоматизированного процесса сбора и накопления таких данных (как параметров функционирования оборудования, так и показателей работы ремонтных служб). Необходимо организовать сбор информации на каждом этапе проведения работ по ТОиР, а так же применять особые требования к форме и содержанию данных, собранных в рамках работ ТОиР.

При организации мониторинга и сбора данных могут быть применены многоагентные технологии с использованием интеллектуальных программных агентов, например с логикой “belief–desire–intention” (BDI) [9, 10], а также архитектуры построения многоагентных систем, например Real-Time Agent Architecture (ARTS) [11].

Формализация модели агента на основе данного подхода подразумевает использование структуры Крипке, адаптированной к задаче моделирования поведения интеллектуального агента [8]:

$$M = (W, \eta, \mu, \Gamma, B, D, I),$$

где: W – множество возможных миров убеждений W^B, предпочтений W^D и намерений W^I, т.е. $W = W^B \cup W^D \cup W^I$, $W : (\{S_w : w \in W\}, \{R_w : w \in W\})$;

η – функция назначения, ставящая в соответствие каждому состоянию s из мира w набор высказываний (формулу состояния) из множества Φ которые истинны в данном состоянии, т.е. $\eta(w, s) \to \Phi'$, $w \in W$, $s \in S_w$, $\Phi' \subseteq \Phi$; μ – функция назначения, ставящая в соответствие каждому отношению достижимости r, определенному в мире w, некоторое действие, т.е. $\mu(w, r) \to \xi$, $w \in W$, $r \in R_w$, $\xi \in \Xi$; Γ – система целей агента, представленная совокупностью целевых функций $\gamma(s) \in \Gamma$, определяющих приоритеты достижения агентов заданных состояний; B, D, I – отношения на множествах миров и состояний (в рамках представления убеждений агента получим $B \subseteq W^B \times S \times W^B$). Организация совместного взаимодействия сети агентов обслуживания описана в [12 и 13].

Для обработки и систематизации полученных данных используются ряд методик, входящих в состав общего подхода к обработке данных – Data Mining, таких как: препроцессинг первичных данных, обнаружение аномальных данных; использование ассоциативных правил; классификация; кластерный анализ; деревья решений; факторный анализ; регрессионный анализ; анализ структурных данных; анализ последовательностей.

При использовании системного подхода к задаче увеличения эффективности ТОиР необходимо организовать непрерывный процесс оценки эффективности ТОиР и адаптивное внесение изменений в процесс ТОиР для получения оптимального значения эффективности функционирования ремонтной службы *Ем* и КПЭО. Согласно [14], в качестве критерия эффективности работы ремонтных служб может быть взята сумма $Ем = См + Lp$, где *См* – затраты, необходимые для выполнения ремонтных воздействий; *Lp* - производственные потери. Известно такое противоречие, что низкие затраты на ремонт и ТО приводят к значительным потерям производства и значительной общей сумме расходов. С другой стороны, высокие затраты снижают рентабельность. В работе [14] утверждается, что оптимум соответствует случаю, когда сумма потерь прибавочной стоимости и затрат на ремонты имеет минимальное значение.

Основные стадии итеративной организации системы ТОиР на основе KPI следующие [2, 7]: 1) Разработка или усовершенствование системы KPI. 2) Проведение работ ТОиР оборудования. 3) Сбор данных и расчет показателей KPI. 4) Проведение оптимизации работ системы ТОиР оборудования. При этом при возникновении отказа оборудования необходимо проводить следующий алгоритм действий по его предотвращению впредь: 1) Идентификация проблем, приводящих к возникновению отказа. 2) Анализ проблемы с целью выявления ее причин, типов отказов, возникающих от отказов эффектов, частоты, серьезности и типа отказов. 3) Поиск подходящих системных решений (выбор и адаптация известных методов решений или разработка новых). 4) Применение новых решений с измерением их эффективности и сопоставлением со старыми методами. Для этого могут применяться такие методы предотвращения отказов оборудования, как методы корневой анализ причин отказов (RCA), анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA) и др.

Комплексное повышение эффективности процесса ТОиР

Повышение эффективности организации исполнения ТОиР возможно за счет применения современных передовых методологий ТОиР и их комбинаций. В процессе совершенствования подходов к проведению ТОиР от реактивного ремонта (аварийные ремонты) оборудования по факту его отказов исторически был осуществлен переход к предупредительному обслуживанию PrM (Preventive maintenance) [2, 15], которое можно разделить на следующие основные виды: плановое обслуживание PlM (Planned maintenance), примером методической организации которого являются подробные советские методики системы ТОиР, подробно описывавшие регламент ТОиР почти всех видов промышленного оборудования; обслуживание по состоянию CBM (Condition-based maintenance); предупредительное обслуживание на основе прогнозных данных PdM (Predictive maintenance).

Каждый из указанных подходов имеет свои достоинства и недостатки, и должен применяться согласно его условиям применения. В процессе поиска подходов к минимизации затрат на ТОиР, подход, заключающейся в уменьшении или расширении во времени PlM, показал себя не с лучшей стороны. Выросшее количество аварийных работ либо приводило уровень затрат к прежнему уровню, либо повышало его. Это связано с наличием зависимости между затратами на ТОиР и надежностью оборудования, которая является нелинейной.

Для более эффективного управления ТОиР необходимо применять разные подходы организации ТОиР к разным группам оборудованиям. Для сегментирования фонда оборудования по группам, в соответствии с применяемым к его ТОиР подходом, можно выделить ряд критериев оценки эксплуатационных свойств оборудования. Например, критичность оборудования (важностью его постоянной работы), стоимость ремонта, сроки ТОиР и др. При этом могут использоваться матрицы рисков.

В промышленности широко используется показатели эффективности работы оборудования OEE (Overall equipment effectiveness) и TEEP (total effective equipment performance) [16], которые являются ключевыми показателями эффективности (КПЭ) работы оборудования и отражают общее использование оборудования, время и материал производственных операций. Они показывают разницу между идеальной и фактической производительностью. TEEP измеряет OEE в календарных часах. Хорошим достижением для предприятия считается уровень эффективности оборудования OEE порядка 80-90%.

В силу того, что коэффициент готовности оборудования зависит от надежности его работы, в первую очередь необходимо решать вопросы обеспечения надежности технических систем, которым посвящено большое направление научных работ. Нас интересует организационно-методический аспект данной проблемы, решению которого посвящены технологии ТОиР "Обслуживание, ориентированное на надежность" (RCM). Данный аппарат [17] основан на комбинировании методов управления рисками, мониторинга и контроля параметров функционирования оборудования. Возможности его применения в средствах поддержки ТОиР обусловлены применением методов организации и накопления знаний, а также процедур их использования (логического вывода). В качестве машин логического вывода могут применяться механизмы рассуждения по прецедентам (CBR) на онтологиях.

Немаловажным параметром эффективности также является стоимость затрат на оборудование, которая складывается из общих совокупных затрат на протяжении жизненного цикла оборудования [18]. В общем виде затраты на ЖЦ оборудования *LCC* составляют:

$$LCC = Cic + Cin + Ce + Co + Cm + Cs + Cenv + Cd,$$

где *Cic* – первоначальная стоимость покупки, *Cin* – стоимость установки, обучения и ввода в эксплуатацию, *Ce* – затраты энергии, *Co* – стоимость нормальной эксплуатации, *Cm* – стоимость ТОиР, *Cs* – стоимость простоев (недовыпуска продукции), *Cenv* – стоимость расходных материалов, необходимых для нормального функционирования оборудования, *Cd* – стоимость вывода из эксплуатации и утилизации оборудования и материалов. Соответственно, изменение стоимости любой фазы ЖЦ оборудования или элемента структуры затрат на его ЖЦ влечет за собой изменение совокупной стоимости *LLC*. Для повышения эффективности использования оборудования достаточным условием является снижение стоимости любой из компонент *LCC*. Более сильным решением является комплексный подход к одновременному снижению различных групп затрат, влияющих на величину *LCC*. Для его осуществления необходимо применение совокупности средств методической и программно-информационной поддержки в совокупности с математическими методами и алгоритмами. Нами выделен обобщенный состав задач и методов поддержки ТОиР применительно к задачам обеспечения эффективной работы оборудования, описание которого выходит за рамки данной работы. Важным параметром эффективности ТОиР основных фондов также является параметр "степень возврата инвестиций".

Критерием эффективности ТОиР согласно [2, 14] является минимизация затрат *Cm* на ремонт *CR* и техническое обслуживание *CM* в совокупности с минимизацией производственных потерь *Lp* из-за неудовлетворительного технического состояния оборудования, а также обеспечение своевременной поставки необходимых ресурсов: запасных частей для ремонта оборудования; ремонтных специалистов, выполняющих ремонтные воздействия; финансовых средств на оплату запасных частей и ремонтных бригад; интервала времени, в течение которого оборудование простаивает.

Согласно [4], решаемую задачу в общем виде можно описать в виде модели $<A, K, X, O>$, где A – множество вариантов решений; K – критерии; X – множество оценок, O – набор предпочтений ЛПР. При этом набор критериев $K = <CR, CO, P>$, а целевую функцию можно записать в виде: $\{min\{f(CR + CO)\}, min\{f(P)\}$.

Типовыми задачами также являются задачи определения порядка работ, составления расписаний.

Решение большинства задач вполне может производиться известными методами линейного программирования [19]. Для определения очередности выбора возможно использование ряда методов: RCM [17] и RCM2, матрицы и векторы предпочтений; неметрические методы [20], например Парето[21], поддержки принятия решений в условиях неполной информации с помощью нечетких переменных fuzzy logic и др.

Модели организации ТОиР могут быть представлены с помощью моделей систем массового обслуживания: методов цепей Маркова, сетей Петри, многоагентных систем. В рамках проекта, поддержанного РФФИ (№13-01-0079813\13) созданы модели-прототипы, позволяющие определять характеристики и перспективы использования для имитационного моделирования, позволяющего определять эффективность тех или иных стратегий ТОиР.

Применение технологий накопления и использования знаний для повышения эффективности ПРОЦЕССА ТОиР

Особое внимание в исследовании и рационализации процесса ТОиР уделяется изучению применяемых в организации правил и стратегий обслуживания и ремонта оборудования. Они могут быть в разной степени формализованы с помощью корпоративных стандартов и методического обеспечения.

Важным вопросом организации поддержки является сбор и аккумуляция знаний в едином информационном хранилище – базе знаний. Организация знаний для поддержки ТОиР может быть осуществлена различными способами, каждый из которых имеет определенные преимущества и недостатки. Для задач ТОиР, помимо информации об обслуживаемых объектах основных фондов, территориальном, организационном делении, субъектах процесса ТОиР, имеют место различные информационные классификаторы, правила, регламентирующие осуществление обслуживания и ремонта с точек зрения временных, ресурсных атрибутов и их ограничений в зависимости от вида ТО или ремонта. Также имеет огромную ценность историческая информация о произошедших отказах определенного оборудования и выполненных над ним ремонтных воздействиях. Все вместе они образуют метаданные или знания. Накопленные прецеденты могут быть проанализированы и классифицированы для последующего использования в виде решающих правил. Таким образом удобно использовать статистические данные об отказах оборудования определенного класса.

Представление знаний помимо классических реляционных информационных моделей, может быть в виде карт знаний, фреймов-прототипов, прецедентов. Более структурированным и приспособленным для использования в ТОиР представлением знаний о процессе ТОиР и его компонентах является механизм онтологий [22]. Получение результатов логического вывода осуществляется с помощью механизма рассуждения по прецедентам (CBR).

Для практического применения важна гибкая настройка информационных систем на применяемые методологии ТОиР. Например, в качестве основы берется использование ППР - PlM для оборудования, которое находится на гарантии и регламентировано государственным надзором. На этой основе добавляется управление рисками, использование системы предпочтений пользователей, методов поддержки принятия решений в условиях неполноты информации.

Заключение

В работе описаны краткие результаты, полученные в процессе организации программно-информационной и методической поддержки ТОиР, которые составляют ТОиР Body of Knowledge (M&R BOK), начиная от постановки задачи [23] и заканчивая отдельными положениями M&R BOK, реализованными в программно-информационной системе АСТОР [24, 25], применяющейся как ремонтными службами промышленных предприятий, так и специализированными ремонтными организациями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кизим, А. В.* О методологических аспектах решения задач программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта / А.В. Кизим, С.В. Шевченко // Вісник національного технічного університету "ХПІ" : зб. наук. праць. Тем. випуск "Системний аналіз, управління та інформаційні технології". – 2011. – № 35. – С. 56–61.

2. *Кизим А.В.* Повышение производительности эксплуатации оборудования с использованием системного подхода / А.В. Кизим, Е.В. Чиков, В.А. Камаев, С.В. Шевченко // Вісник національного технічного університету "ХПІ" : зб. наук. праць. Тем. випуск "Системний аналіз, управління та інформаційні технології". – 2012. – № 30. – С. 40–46.

3. Lawson insight. EAM-Focused ERP, Lawson. – 2006.

4. *Кизим, А.В.* Постановка и решение задач автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию

оборудования / А.В. Кизим // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (Доклады ТУСУРа). – 2009. – № 2 (декабрь). – С. 131–135.

5. *Кизим, А.В.* Программно-информационная поддержка технического обслуживания и ремонта оборудования с учетом интересов субъектов процесса / А.В. Кизим, Е.В. Чиков, В.Ю. Мельник, В.А. Камаев // Информатизация и связь. – 2011. – № 3. – С. 57–59.

6. *Kaplan R. S., Norton D. P.* The Balanced Scorecard: measures that drive performance, Harvard Business Review, Jan – Feb, pp. 71–80. -1992

7. *Кизим, А.В.* Повышение эффективности процессов эксплуатации оборудования путем использования системы ключевых показателей ремонтных служб / А.В. Кизим, Е.В. Чиков // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе IT+SE`2012 : приложение к журналу "Открытое образование" : матер. XXXX юбил. межд. конф. X межд. конф. молодых ученых (майская сессия, Крым, Ялта-Гурзуф, 25 мая – 4 июня 2012 г.) / ИПУ РАН, ГУ-ВШЭ, МГУПИ [и др.]. – [М.], 2012. – С. 163–166.

8. *Камаев, В.А.* Разработка и применение модели автоматизированной системы управления информационными процессами к задаче мониторинга состояния оборудования/ В.А. Камаев, В. В. Лежебоков //Вестник компьютерных и информационных технологий, 2009. – №9. – С. 18–22.

9. Rao A. S., Georgeff M. P. BDI-agents: From Theory to Practice, Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems (ICMAS'95), San Francisco. – 1995.

10. *Monostori, L., Vancza, J., and Kumara, S. R. T.* Agent-based systems for manufacturing, Annals of the CIRP, 55, pp. 697–720. –2006.

11. *Vikhorev K. S., Alechina N., and Logan B.* The ARTS Real-Time Agent Architecture. Proceedings of Second Workshop on Languages, Methodologies and Development Tools for Multi-agent Systems (LADS2009). CEUR Workshop Proceedings, Vol-494, Turin, Italy.- 2009.

12. *Kaminka G. A., Yakir A., Erusalimchik D., and Cohen-Nov N.* Towards Collaborative Task and Team Maintenance. Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS-07). -2007.

13. *McArthur, S.D.J., V.M. Catterson.* Multi-agent systems for condition monitoring. Power Engineering Society General Meeting, 2005. IEEE June 12-16, pp 1499 – 1502. – 2005.

14. *Levitt J.* Handbook of Maintenance Management, Industrial Press.-1997.

15. *Кизим, А.В.* Организация программно-информационной поддержки методологий технического обслуживания и ремонта / А.В. Кизим // Сборник научных трудов SWorld : матер. междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2012». – 2012. – Вып. 4, т. 12. – С. 86–88.

16. *Hansen R.C.* Overall Equipment Effectiveness (OEE). Industrial Press. -2005.

17. *Moubray, J.* Reliability Centered Maintenance, 2nd Edition.- 1997.

18. *Кизим, А.В.* Задачи и методы поддержки ТОиР оборудования на протяжении его жизненного цикла / А.В. Кизим // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4 (91) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 13). – С. 55–59.

19. *Kantorovich L. V.* Selected Works. Part 2: Applied Functional Analysis. Approximation Methods and Computers», Gordon and Breach Publishers. – 1996.

20. *Мельник, В.Ю.* Поддержка принятия решения при формировании очередей работ с помощью средств автоматизации планирования технического обслуживания и ремонта оборудования / В.Ю. Мельник, А.В. Кизим, В.А. Камаев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 11 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 12). – С. 107–110.

21. *Мельник, В. Ю.* Применение неметрического метода Парето для задачи планирования технического обслуживания и ремонта / В.Ю. Мельник, В.А. Камаев, А.В. Кизим // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 11 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 12). – С. 103–106.

22. *Campos J.* An ontology for asset management. IFAC Conference on Cost Effective Automation in Networked.- 2007.

23. *Кизим, А. В.* Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. на-уч. ст. № 6 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в техн. системах» ; вып. 6). – С. 118–121.

24. *Кизим, А.В.* Создание системы программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта АСТОР / А.В. Кизим // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях : сб. матер. 12 междунар. промышл. конф. (п. Плавья, Карпаты, 13-17 февр. 2012 г.) / Украинский информ. центр "Наука. Техника. Технология". – Киев, 2012. – С. 11–14.

25. *Кизим, А.В.* Модернизация системы программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта оборудования / А.В. Кизим, Е.В. Чиков // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе (IT+SE`10). Майская сессия (Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, 20-30 мая 2010 г.) : матер. XXXVII междунар. конф. и дискуссионного науч. клуба : прилож. к журн. "Открытое образование" / РАН [и др.]. – Б/м, 2010. – С. 44–46.

УДК 004.89: 656.1/.5

А. В. Кизим, М. В. Денисов

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОНТОЛОГИЙ И МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Волгоградский государственный технический университет

kizim@mail.ru, maxden33@gmail.com

В работе определены проблемы и задачи организации ТОиР на примере дорожно-строительной техники (ДСТ). Предложен подход к обеспечению поддержки принятия решений (ППР) при управлении ТОиР дорожной техники на основе адаптированного и модернизированного метода RCM2. Определена структура системы организации ремонта и технического обслуживания в дорожном хозяйстве с использованием онтологий и мультиагентных систем. Разработаны модель системы планирования ТОиР на основе агентов как многоагентная система, состав и структура интеллектуальных агентов. Для задач планирования ТОиР предложено использовать метод CaseBasedReasoning на онтологии. Описаны результаты разработки и внедрения модулей комплексной программно-организационной системы ТОиР ДСТ.

Ключевые слова: система поддержки, планирование, дорожно-строительная техника, производственное оборудование, техническое обслуживание и ремонт, ТОиР, организация ТОиР, программно-информационная поддержка, онтологии, интеллектуальные агенты, многоагентная система, RCM2, CBR.

A. V. Kizim, M. V. Denisov

ORGANIZATION OF THE SOFTWARE AND INFORMATION SUPPORT FOR MAINTENANCE AND REPAIR OF PRODUCTION EQUIPMENT WITH ONTOLOGY AND MULTI-AGENT SYSTEMS IN A CONSTRUCTION MACHINE CASE

Volgograd State Technical University

This paper presents the problems and tasks of maintenance and repair on the example of road-building equipment. An approach to providing decision support in the management of maintenance and repair of road vehicles based on the adapted and modernized method RCM2 is proposed. The structure of maintenance and repair organization (MRO) in the road sector with the use of ontologies and multi-agent systems is described. The model of the maintenance and repair planning system on the basis of agents as a multi-agent system, and the composition and structure of intelligent agents are showed. The method of Case Based Reasoning on ontologies proposed to use for scheduling maintenance and repair. The results of the development and implementation of integrated software modules and organizational system Maintenance and road-building equipment are described.

Keywords: system support, planning, road construction machinery, industrial equipment, production equipment, maintenance and repair, maintenance and repair organization, MRO, software and information support, ontology, intelligent agents, multi-agent system, RCM2, CBR.

Введение

Дорожное хозяйство имеет большое значение для любой страны, так как дорожная сеть является базой для самого часто используемого из 4 важнейших механизмов транспортировки грузов и людей. Модернизация дорожного хозяйства позволяет перейти к новой системе управления, ориентированной на достижение результатов и повышение эффективности функционирования отрасли. Одной из задач реформирования является совершенствование управленческих технологий, которые включают в себя лучшие современные подходы по организации технического обслуживания и ремонта техники(ТОиР) для обеспечения максимального выполнения дорожными ремонтными машинами производственной программы. У многих автодорожных предприятий парк оборудования обновляется не в достаточной мере, что приводит к его износу и выработке ресурса машин. Самым очевидным решением, на первый взгляд, является обновление оборудования для замены отработавшего. Однако, экономическое обоснование подобных операций не всегда убедительно. Более перспективной задачей для решения является разработка аппарата для организации системы организации, планирования и поддержки принятия решений по обслуживанию и ремонту парка дорожно-строительной техники.

Решение по организации ТОиР

Зачастую при организации работ по ТОиР дорожной техники используется обслуживание по фактическому состоянию. Реже – более про-

грессивное планово-предупредительное ТОиР, при котором ремонтные воздействия производятся через определенные промежутки времени или наработки оборудования.Онотакже не всегда рационально, т.к. влечет дополнительные не всегда обоснованные затраты. Во многих отраслях зарекомендовал себя подход Reliability-Centered Maintenance (RCM), при котором определяется значимость актива, а также последствия его отказов. Корганизации ТОиР автодорожной техники, как и другого оборудования,также возможно применение RCM (рис. 1).

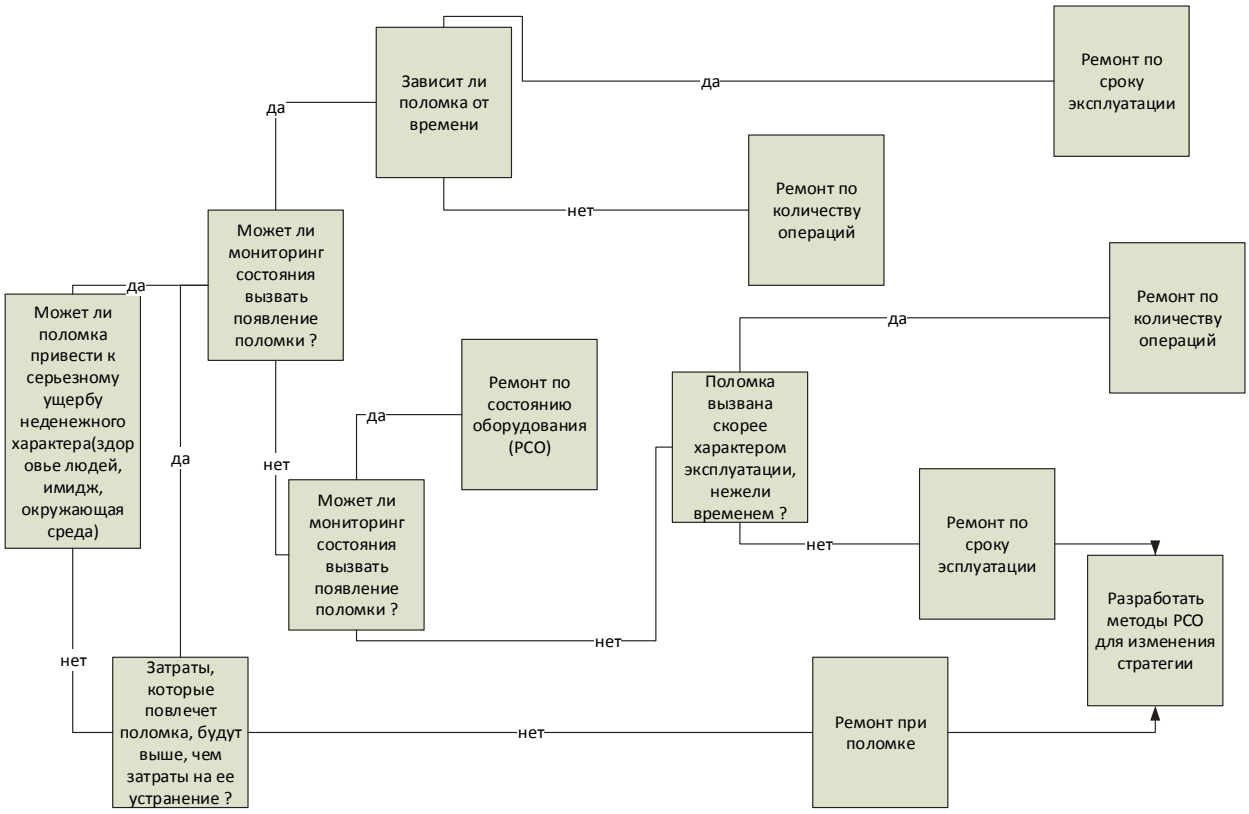


Рис. 1. Логика RCM-подхода

В общем случае затраты на ТОиР равны сумме эксплуатационных издержек и производственных потерь (в том числе от невыполнения обязательств организации перед заказчиками). Данная кривая имеет точку оптимума (см. рис. 2). Смысл данной зависимости в том, что при некоторой величине совокупных затрат достигается оптимальное соотношение затрат и эффекта от ремонтных мероприятий. А дальнейшие вложения способны увеличить эффект, понимаемый, например, как коэффициент технической готовности оборудования.

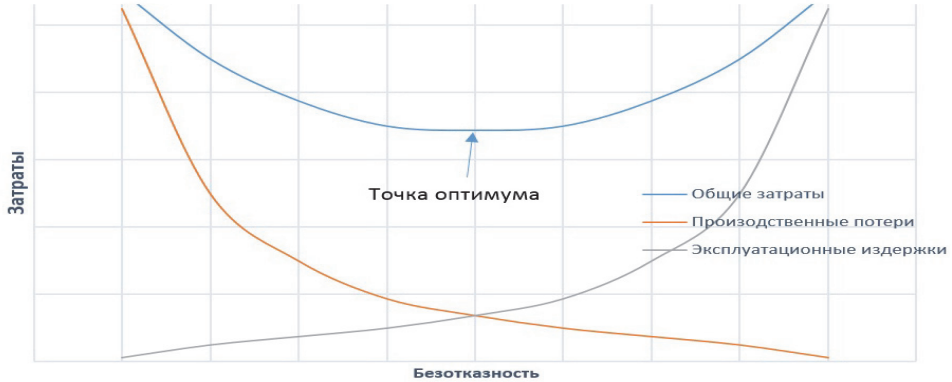


Рис. 2. Зависимость производственных потерь от совокупных затрат на техобслуживание и ремонты

Анализ этой закономерности приводит к выводу, что при управлении техобслуживанием и ремонтами существует возможность разработать оптимальный по критерию затраты/результаты план работ, который является важнейшей предпосылкой успеха всего комплекса ремонтных мероприятий. План является динамически изменяемым. Периодически должна производиться его корректировка.

Для повышения эффективности технологического процесса по обслуживанию дорожной техники необходима его автоматизация, использующая модернизированную стратегию RCM2.

Для этого предложен подход к обеспечению поддержки принятия решений (ППР) при управлении ТОиР дорожной техники. Информационная система поддержки принятия решений (ИСППР) предназначена для выполнения следующих функций: планирование ТОиР дорожной техники, определение приоритета ТОиР дорожных машин, а также составляющих их узлов. С учетом специфики предметной области была построена архитектура системы ППР при ведении дорожных работ (Рис.3). Модулями предложенной ИСППР являются база знаний (онтологии), база данных системы и функциональные модули(мониторинга текущего состояния техники, ППР, и др.). База данных системы и онтология регулярно пополняются. Онтология регулярно пополняется новыми знаниям специалистов, которые поступают в систему управления процессамиТОиР дорожной техники. Эти требования анализируются экспертом с помощью ИСППР на непротиворечивость и вносятся в хранилище знаний в виде новых фрагментов знаний, которые используются для поддержки принятия решений и оценки качества процесса ведения ремонта дорожной техники.

Рис. 3. Схема системы ППР при ведении дорожных работ

Для повышения эффективности принимаемых решений и решения задачи управления знаниями дорожно-строительной организации в части организации процесса ТОиР разрабатывается онтология. Онтология обеспечивает полноту знаний о качестве процесса ведения ремонта дорожных машин, позволяет построить иерархию понятий, формализовать систему суждений экспертов в форме правил принятия решений, и сформировать базу прецедентов проблемных ситуаций в области организации ТОиР и управления качеством процесса ремонта дорожных машин. В онтологии установлены парадигматические отношения между понятиями, независимые от контекста решения задачи, и правила формирования переменных синтагматических отношений понятий, возникающих в некотором контексте решения задачи. Разработка онтологии решает задачу совместного и повторного использования знаний различными пользователями, задействованными в управлении качеством процесса ремонта дорожных машин.

С помощью онтологии определено единое информационное пространство, в котором интегрируются различные модели представления знаний об процесс ремонта дорожных машин управления качеством, знания о конкретной

области подготовки специалистов, правила управления процесс ремонта дорожных машин и прецеденты конкретных проблемных ситуаций, требующих принятия решений. Фрагмент разработанной онтологии, отражающей множество классов процесса ремонта дорожных машин и управления качеством, представлен на рис. 4.

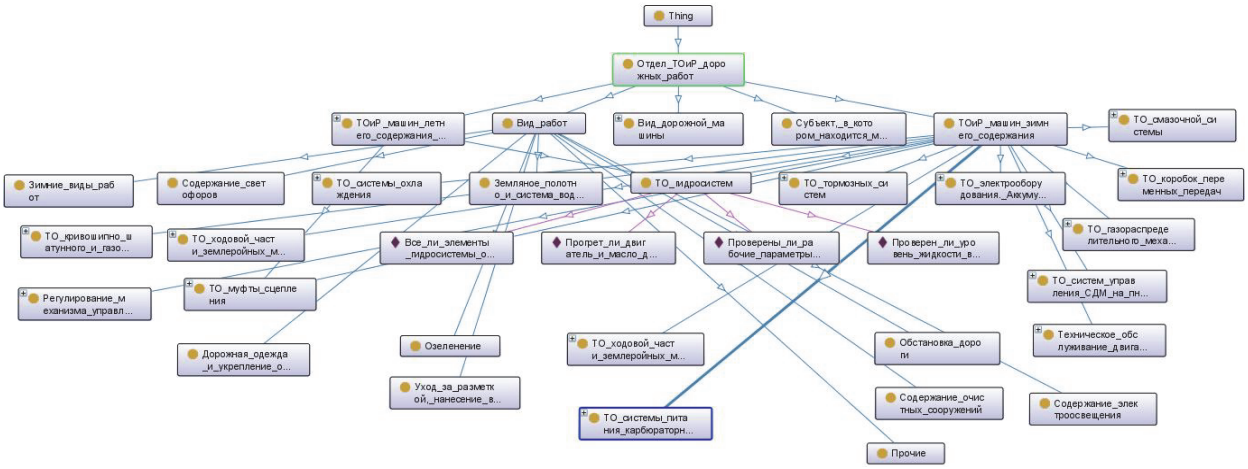


Рис. 4. Фрагмент онтологии управления качеством ведения технического обслуживания и ремонта дорожной техники

Модель многоагентной системы тоирдорожно-строительных машин

Для мониторинга, организации взаимодействия и упрощения процесса управления объектами схожей структуры используются агенты, объединяемые в мультиагентную систему (МАС). Модель МАС, изначально разработанная для представления процессов взаимодействия набора объектов схожей структуры, успешно применяется во множестве научных отраслей [7]. Использование этой модели в сферах робототехники и интеллектуального анализа данных привело к выработке концепта агента, как объекта, наделенного правами пользователя и способного к совершению схожего спектра задач. Таким образом, агент является сложной системой, которая может быть основана на интеллектуальных методах, внутри системы мультиагентного взаимодействия.

По причине разнородности и различного территориального расположения дорожно-строительных машин и оборудования является обоснованным применение агентных технологий для решения задач ТОиР. Агенты обладаютхарактеристиками, которые делают их незаменимыми в задачахТОиР. Способность правильно реагировать на динамически изменяющиеся условия делает многоагентные системы (МАС) гибкими для их использования при обслуживании дорожной техники, так как дорожно-ремонтная машина довольно автономна, и ситуация в ней меняется динамически. Агенты обладают свойствами гибкости, расширяемости и отказоустойчивости. В МАС задачи распределены между агентами, каждый из которых рассматривается как член группы или организации. Распределение задач предполагает назначение ролей каждому из членов группы, определение меры его ответственности и требований к опыту.

При использовании всех методов формирования прогнозов работ по ТОиР оборудования в рамках автоматизированной системы с использованием агентов можно повысить скорость составления и качество планов проведения работ по ТОиР оборудования. В соответствии с этим предлагается следующая модель мультиагентной системы ТОиР.[10]

Распределенное решение задач несколькими агентами разбивается на следующие этапы: 1) агент-менеджер машины проводитанализ отказов внутренних узлов, а также определение приоритета их ремонта; 2) эти задачи распределяются между агентами-исполнителями; 3) каждый агент-исполнитель решает свою задачу, подчас также разделяя ее на подзадачи; 4) для получения общего результата производится композиция, интеграция частных результатов, соответствующих выделенным задачам; 5) агент-менеджер машин используется для определения приоритета ремонта дорожно-строительных машин, на основе шкалы важности, которая получается по методологии RCM.

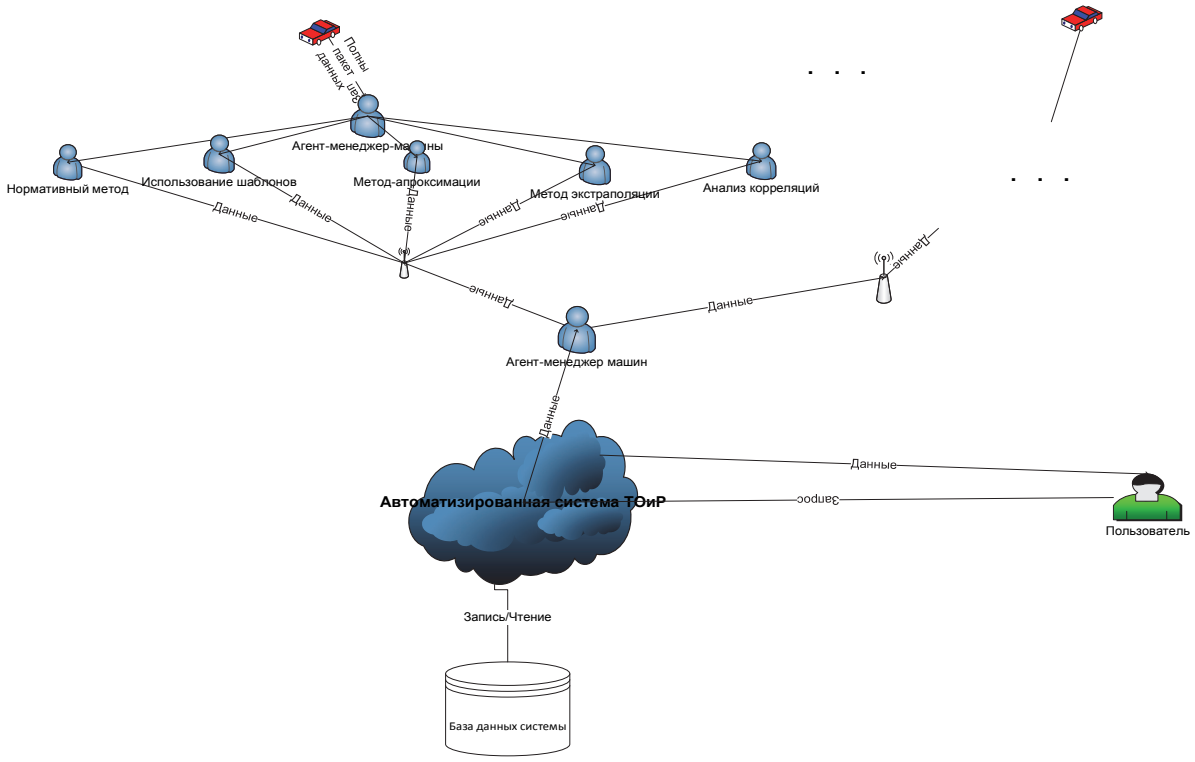


Рис. 5. Архитектура ТОиР дорожной техники на основе мультиагентов

Для организации вывода регулярно повторяющихся задач планирования ТОиР используется метод Case Based Reasoning (CBR) [11]. Если принцип регулярности не выполняется, то очередность обслуживания и ремонта узлов производится на основе предварительных экспертных оценок важности узла, а также правил ТОиР и других знаний об организации процесса ТОиР. После успешного выполнения запланированной операции по ТОиР узла информация заносится в базу знаний и в дальнейшем становится возможным применение для планирования работ над ним метода CBR.

Выводы и результаты

Произведен анализ проблем и постановка задач по организации ТОиРтехники в дорожном хозяйстве. Определены базовые методологии ТОиР для создания системы организации ТОиР в дорожном хозяйстве (обслуживание по фактическому состоянию, планово-предупредительное обслуживание и RCM). В рамках работы предложен подход к обеспечению поддержки принятия решений (ППР) при управлении ТОиР дорожной техники на основе адаптированного и модернизированного метода RCM2. Показано, что затраты на ТОиР равны сумме эксплуатационных издержек и производственных потерь.

Определена структура системы организации ремонта и технического обслуживания в дорожном хозяйстве с использованием онтологий и мультиагентных систем. Показаны решения по применению онтологий для задачи управления знаниями по организации ТОиР. Произведено обоснование применения агентных технологий для решения задач ТОиР. Разработаны состав агентов и модель системы планирования ТОиР на основе агентов как многоагентная система. Построена структура интеллектуальных агентов, соответствующаямодели. Для задач планирования ТОиР используется метод Case Based Reasoning для вывода на онтологии. Внедрение системы идет на базе регионального государственного предприятия по строительству и ремонту дорог. Разработка и внедрение программно-организационной системы производятся поэтапно. На данный момент внедрена с экономическим эффектом система автоматизированного учета дорожных работ предприятия и производится сбор информации о проведенных работах, которая учитывается в прототипе системы ИСППР.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Камаев В.А., Щербаков М.В., Скоробогатченко Д.А.* Применение нечетких нейросетевых моделей для идентификации состояния автомобильных дорог / Вестник ком-

пьютерных и информационных технологий. Вып. 12. М.: “Машиностроение”, 2010. С. 36-41.

2. *Камаев В.А.* Интеллектуальные системы автоматизации управления энергосбережением / В. А. Камаев, М. В. Щербаков, А. Бребельс // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 227–231.

3. *Кизим А.В.* Программно-информационная поддержка технического обслуживания и ремонта оборудования с учетом интересов субъектов процесса/А.В. Кизим, Е.В. Чиков, В.Ю. Мельник,В.А. Камаев // Информатизация и связь. –2011. –№ 3. –С. 57–59.

4. *Кизим А.В., Линев Н.А.* Исследование и разработка методики автоматизации ремонтных работ предприятия // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»: Межвуз. сб. науч. ст. -Волгоград: ВолгГТУ, 2008. –Вып. 4, № 2. –С. 43–45.

5. *Кизим А.В., Чиков Е.В., Мельник В.Ю.* Задачи прогнозирования и планирования для программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта оборудования // Открытое образование. –2011. –№ 2 (85). Ч. 2. –С. 224–227.

6. *Кизим, А. В*. Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в техн. системах». Вып. 6: межвуз. сб. науч. ст./ВолгГТУ. –Волгоград, 2009. –№ 6. –С. 118–121.

7. *Кизим А.В., Кравец А.Д., Кравец А.Г.* Генерация интеллектуальных агентов для задач поддержки технического обслуживания и ремонта/А. В. Кизим // Известия Томского политехнического университета. –2012. – С. 131–134

8. *Мельник В.Ю.* Поддержка принятия решения при формировании очередей работ с помощью средств автоматизации планирования технического обслуживания и ремонта оборудования / В.Ю. Мельник, А.В. Кизим, В.А. Камаев // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 12 :межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 11. – С. 107–110.

9. *Денисов М.В., Кизим А.В.* Поддержка принятия решений при ведении дорожных работ и мониторинге техники /Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2012. Т. 14. № 4. С. 56-60.

10. Mangina E.E., S.D.J. McArthur and J.R. McDonald (2001a). "COMMAS (COndition Monitoring Multi Agent System)", Journal of Autonomous Agents and Multi-agent Systems, Vol.4, pp 279 - 281.

11. Sankar K. Pal, Simon C. K. Shiu. *Foundations of Soft Case-Based Reasoning*. NewJersey: Wiley, 2004, ISBN: 978-0-471-64466-8.

УДК 519.876.5, 519.876

М. Б. Кульцова, Н. П. Садовникова, Д. В. Дмитриенко, Н. М. Рашевский

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ВОЛГОГРАДА*

Волгоградский государственный технический университет

siemens2006@yandex.ru, npsn1@yandex.ru,
dmitry.dmitrienko@outlook.com, rashevsky.n@gmail.com

В статье представлены результаты комплексного анализа безопасности транспортной системы г. Волгограда на основе качественного и имитационного моделирования. Разработаны качественная модель и модель системной динамики городской транспортной системы, на основе анализа результатов моделирования проведена оценка комплекса мер повышения безопасности транспортной системы. Полученные результаты могут быть использованы для поддержки принятия решений по управлению городской транспортной системой.

Ключевые слова: системный анализ, системная динамика, качественное моделирование, поддержка принятия решений.

M. B. Kultsova, N. P. Sadovnikova, D. V. Dmitrienko, N. M. Rashevsky

SYSTEM ANALYSIS OF THE TRANSPORT NETWORK SAFETY IN VOLGOGRAD

Volgograd State Technical University

In this paper the results of system analysis of the transport network safety in Volgograd on the base of qualitative and simulation modeling are presented. The qualitative model of transport network safety and model of system dynamics are developed, the safety measures on the base of simulation are suggested. The obtained results could be used for support of decision making in the field of transport network management.

Keywords: system analysis, system dynamics, qualitative modeling, simulation modeling, decision-making support.

Введение

С развитием экономики Волгограда, он превращается в постоянно движущийся город, что влечет за собой ряд проблем в транспортной инфраструктуре. Волгоград располагается вдоль реки Волги и имеет протяженность более 80 км. Эти особенности его расположения накладывают ряд ограничений на возможности развития и поддержания правильного функционирования городской транспортной системы. Ряд проблем в этой области связан с отсутствием хорошей объездной дороги для грузовых

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 13-07-00219.

машин, нерациональным расположением светофоров и постов ДПС, плохим состоянием дорожного полотна.

Комплексные программы повышения эффективности транспортной системы являются очень дорогостоящими, и муниципальные власти должны быть уверены в эффективности их реализации. Поэтому актуальной является проблема организации поддержки принятия решений в области управления развитием городской транспортной системы. Решить эту задачу можно с помощью различных подходов, в данной работе предлагается использовать качественное и системно-динамическое моделирование для комплексного анализа транспортной системы и оценки эффективности мер, направленных на повышение ее безопасности.

Анализ предметной области

На первом этапе был проведен анализ предметной области в соответствии с методологией, предложенной в работе [1]. При управлении городской транспортной системой муниципальные власти должны учитывать интересы множества заинтересованных сторон, преследующих зачастую противоположные цели. Был сформирован список сторон, чьи интересы соприкасаются при использовании транспортной системы, в результате экспертного анализа этого списка были выделены основные аспекты использования транспортной системы и соответствующие им цели, отражающие различные группы интересов, такие как безопасность транспортной системы, воздействие на окружающую среду, социально-экономические цели и др.

В ходе анализа было построено дерево целей, для каждой из подцелей этого дерева выделены наборы атрибутов, описывающих транспортную систему с соответствующей точки зрения. Для атрибутов выделены источники получения информации об их значениях, также выделены возможные значения атрибутов и оценки этих значений в соответствии с целями, к которым атрибуты принадлежат. Фрагмент дерева целей и описание атрибутов подцели «Повышение безопасности транспортной системы» приведен на рис. 1.

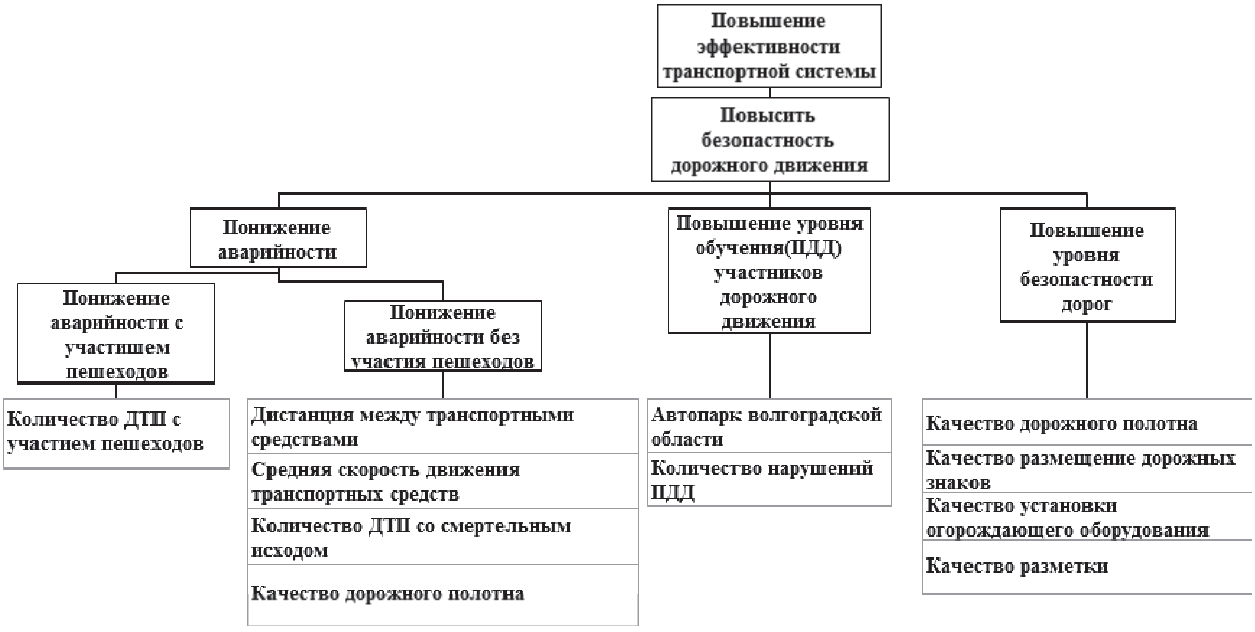


Рис. 1. Фрагмент дерева целей

В результате анализа различных программ развития транспортных систем в России [2, 3] были для различных значений атрибутов выделены альтернативы - действия, которые можно предпринять для улучшения положения, то есть для повышения эффективности транспортной системы, фрагмент описания альтернатив, направленных на повышение безопасности транспортной системы, и их атрибутов представлен на рис. 2.

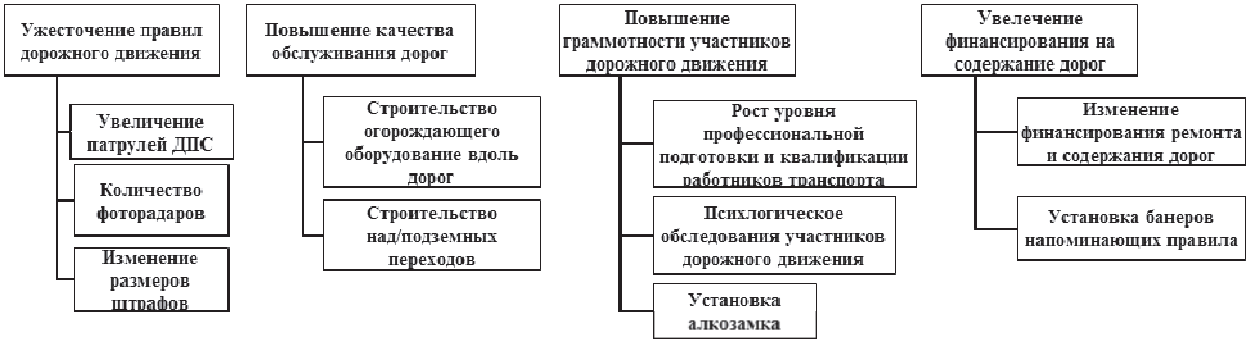


Рис. 2. Фрагмент описания альтернатив, направленных на повышение безопасности транспортной системы

Качественная модель безопасности транспортной системы

Для установления и изучения зависимостей между возможными альтернативами и атрибутами целей в системе качественного моделирования Garp3 [4] была построена качественная модель безопасности транспортной системы QM, которая представляется в следующем виде:

$$QM = \{SSC, CC\},$$

где SSC – множество простых компонент модели; CC – множество составных элементов модели.

$$SSC = \{SC, BC\},$$

где SC – простые структурные компоненты модели; BC– простые компоненты системы, задающие поведение системы.

$$SC = \{EE, SRE\},$$

где EE – иерархия сущностей (на рис. 3 представлена иерархия сущностей модели безопасности транспортной системы, построенная в Garp3), SRE – множество отношений между атрибутами безопасности транспортной системы

$$(SRE = \emptyset, \text{т. к. атрибуты друг на друга воздействий не оказывают}).$$

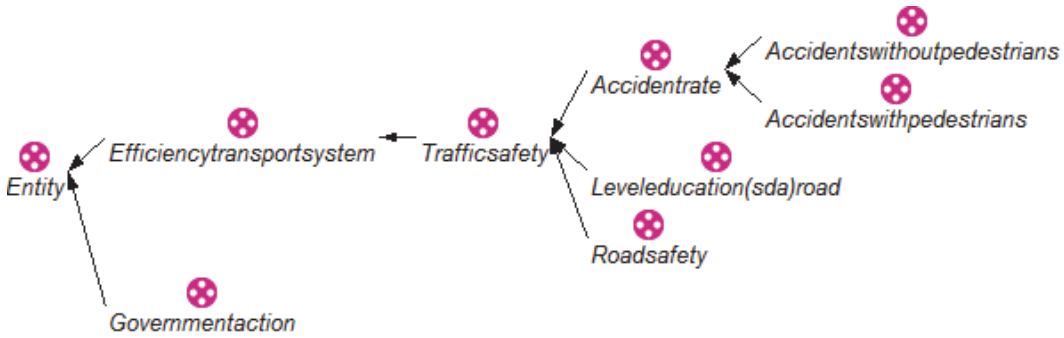


Рис. 3. Иерархия сущностей качественной модели безопасности транспортной системы

$$BC = \{Q, QS, D\},$$

где Q – множество качественных переменных; QS – пространство допустимых значений:

$$QS = \{Hmz, Pz\}$$
$$Hmz = \{High, Middle, Zero\}$$
$$Pz = \{Plus, Zero\}$$
$$Q = \{Accidentsinvolvingpedestrians, Averagespeedoftraffic, Countcars, Countoftrafficviolations, Distance, Fatalcrash, Finance, Fine, Qualityinstallationfencing, Qualityfaccommondationofroadsigns, Qualityofroadmarkings, Qualityofroadway, Value\},$$

D – множество отношений причинно-следственных связей:

$$D = \{I+, I-, P+, P-\},$$

где I+ и I- - положительное и отрицательное влияние значения одной переменной на другую переменную, соответственно; P+ и P- прямая и обратная пропорциональная зависимость ме-

жду значениями двух переменных, соответственно.

$$CC = \{SF, PF, Sc\},$$

где SF – множество статических фрагментов качественной модели, сформированных из элементов SSC (см. рис. 4); PF – множество динамических фрагментов качественной модели, сформированных из элементов SSC(см. рисунок 4); Sc – множество сценариев симуляции качественной модели, сформированных из элементов SSC.

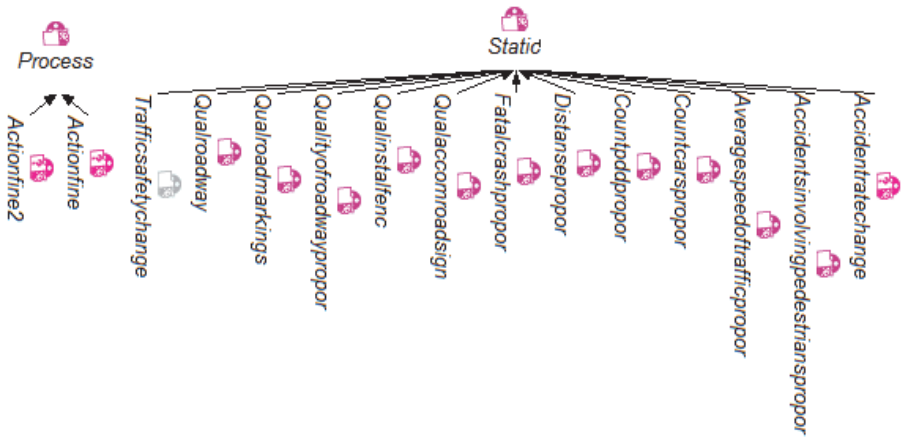


Рис. 4. Иерархия статических и динамических фрагментов модели

На качественной модели были проведены эксперименты, выявляющие влияние на параметры транспортной системы, следующих мер: повышение штрафов за нарушения правил дорожного движения и увеличение финансирования на строительство и ремонт дорог. В частности было получено, что повышение штрафов положительно влияет на уровень обучения водителей правилам дорожного движения, а увеличение финансирования положительно влияет на качество дорог. В обоих экспериментах безопасность и эффективность транспортной системы повысились. На рис. 5 представлено одно из состояний, полученных в результате симуляции.

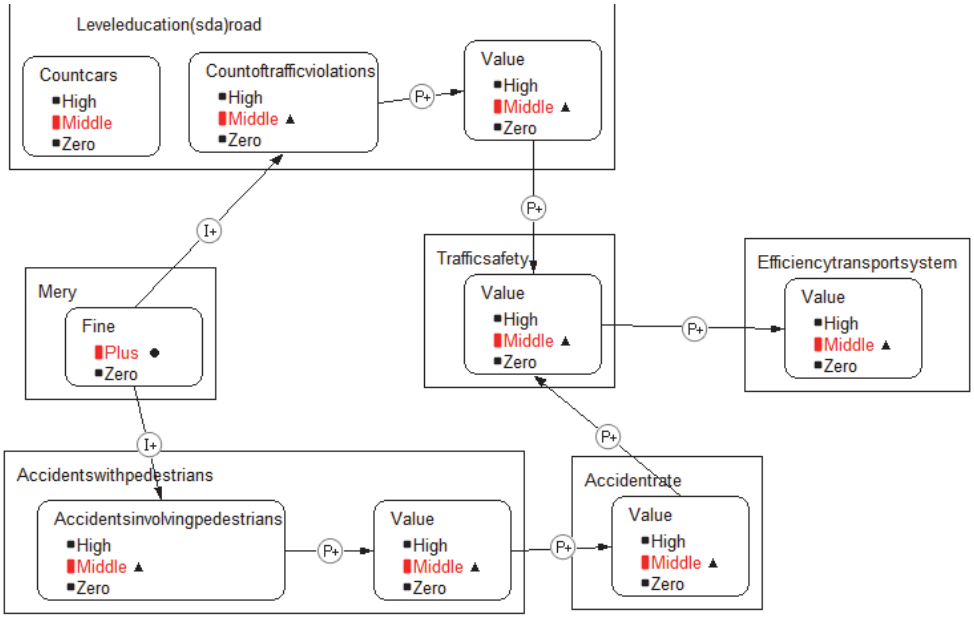


Рис. 5. Результаты симуляции, проведенной на качественной модели

Модель системной динамики транспортной системы

Системно-динамическое моделирование активно применяется при создании программ развития города [5-8]. Данный подход позволяет не только имитировать развитие процессов, протекающих в исследуемой системе, но и выдавать определенные рекомендации по повы-

шению эффективности управления системой. Целью моделирования на данном этапе исследования является приближенный анализ динамики развития транспортной системы города и изучение возможных последствий решений, принимаемых по ее преобразованию, с точки зрения безопасности. Для моделирования использовалась инструментальная среда Vensim 5.0 (Ventana Systems, США) [9].

Для формального описания модели системной динамики введем следующие обозначения. Через t обозначим переменную «время», начальное значение которой равно нулю и за каждый такт увеличивается на достаточно малое положительное приращение dt. Безопасность транспортной системы описывается следующим набором уравнений (фрагмент формальной модели):

$$\mathrm{STS} = \int \left(\frac{((1-Acc)+LD+SHW)}{3} - STS_{t-1} \right) dt,$$

где STS – безопасность дорожного движения, Acc – Аварийность, LD–уровень обучения участников дорожного движения, SHW–безопасность дорог.

$$Acc = \int ((AccPed + AccNPed)/2 - Acc_{t-1}) dt,$$

где AccPed – аварийность с участием пешеходов, AccNPed – аварийность без участия пешеходов.

$$LD = \int \left(IFTHENELSE \left(CountPDD < CountCars * \frac{1.5}{1000}, \frac{CountPDD}{CountCars * \frac{1.5}{1000}}, 0 \right) - LD_{t-1} \right) dt,$$

где CountPDD – нарушения правил дорожного движения (количество зарегистрированных нарушений на территории города за рассматриваемый период), CountCars – автопарк Волгограда (количество активно используемых транспортных средств).

$$SHW = \int \left(\frac{QR+QF+QM+QS}{4} - SHW_{t-1} \right) dt,$$

где QR – качество дорожного полотна, QF–качество ограждающего оборудования, QM–качество дорожной разметки, QS–качество установки дорожных знаков.

На построенной модели был проведен ряд численных экспериментов, позволяющих проанализировать динамику развития процессов в исследуемой системе при изменении параметров, влияющих на показатели безопасности.

В первом эксперименте было произведено моделирование транспортной системы без применения мер по повышению безопасности со следующими исходными данными: срок симуляции 30 лет; период один год; улучшающие воздействия отсутствуют; количество автомобилей каждый год увеличивается [10,11]. В результате значения всех параметров, в том числе и безопасности транспортной системы, постепенно уменьшались.

Во втором эксперименте при моделировании учитывались меры, направленные на повышение безопасности транспортной системы города [12,13]: с первого по пятый год увеличивалось количество патрулей по 30 в год; с десятого по двадцатый годы увеличивалось финансирование на развитие транспортной системы по 400 млн. руб. в год; с первого по пятый год предполагалось строительство 30 над/подземных пешеходных переходов в год; с третьего по восьмой годы предполагалась установка баннеров, знаков и плакатов, напоминающих водителям правила дорожного движения по 400 шт. в год; с двадцатого по тридцатый годы каждый год увеличивались штрафы на 15% в год. Результаты моделирования представлены на рис. 6. По результатам второго эксперимента (см. рис. 6) можно сказать, что кривая безопасности дорожного движения изменяется значительно. С первого по пятый год положительно сказываются такие меры, как строительство переходов и увеличение патрулей ДПС, что в сумме повышает безопасность дорожного движения на 10 %.

С пятого по десятый год наибольшее влияние имеет такой фактор, как установка баннеров, знаков и плакатов, напоминающих ПДД, это положительно влияет на уровень обучения участников дорожного движения, но из-за этого ухудшается безопасность дорог, так как ухудшается качество разметки и общий показатель безопасности дорожного движения падает. При таких показателях данная мера не улучшает безопасность, следовательно, тратить на нее средства не имеет смысла, так как в результате главная цель не достигается. С десятого по двадцатый годы действует только фактор финансирования. Он сильно улучшает безопасность дорог, так как выделенные средства в основном идут на строительство и ремонт дорог, при этом остальные факторы меняются незначительно.

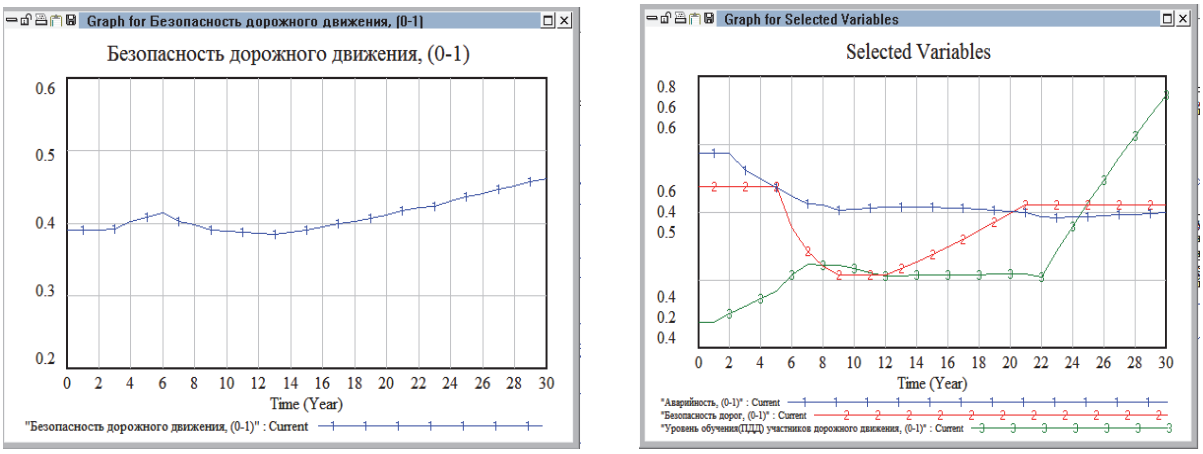


Рис. 6. Результаты моделирования с учетом мер, направленных на повышение безопасности транспортной системы

Уровень безопасности повышается на 5 %. С двадцатого по тридцатый годы увеличиваются штрафы, что повышает уровень обученности участников дорожного движения, при этом общий уровень безопасности также повышается. По результатам моделирования можно сделать вывод, что самыми действенными мерами являются увеличение штрафов и увеличение финансирования. В результате за 30 лет при заданных параметрах безопасность повысилась примерно на 25 %, но при этом отметка 0.6 (оценка “хорошо”) так и не была достигнута.

Выводы

Проведен комплексный анализ безопасности транспортной системы г. Волгограда на основе качественного и имитационного моделирования. Построенные модели позволяют провести предварительную оценку комплекса мер, направленных на повышение безопасности транспортной системы, а также сделать прогноз улучшения параметров транспортной системы. Полученные результаты могут быть использованы для поддержки принятия решений по управлению городской транспортной системой, что позволит разрабатывать более эффективные программы развития транспортной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Reichert, P.* Concepts of decision support for river rehabilitation / P. Reichert, M. Borsuk, M. Hostmann et al. // Environmental Modelling & Software. – 2007. – №22. – P. 188–201.

2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – [2013]. – Режим доступа: http://www.mintrans.ru:8080/pressa/TS_Proekt_16102008.pdf.

3. ФЦП "Развитие транспортной системы России (2010-2015 годы)" [Электронный ресурс]. – [2013]. – Режим доступа: http://rosavtodor.ru/information/Osnovnye_programmy/ftsp_razvitie_transportnoy_sistemyi_rossii_2010_2015_godyi.html.

4. Home :: The Qualitative Reasoning and Modelling Portal [Электронныйресурс]. – [2013]. – Режимдоступа: http://hcs.science.uva.nl/QRM/index.html.

5. *J. Sterman*, 2000. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill Companies, pp. 982.

6. *M. Gary, M. Kunc, J. Morecroft , S. Rockart*, 2008. System dynamics and strategy. System Dynamics Review. 24(4): 407–429.

7. *N.P. Sadovnikova, D. S. Parygin, E.V. Manunina*, 2013 Quality management of urban environment using the system dynamics method. Modern scientific research and their practical application. Is. 4 (J113). – Vol. J11307. http://sworld.com.ua/e-journal/j11307.pdf

8. *Садовникова, Н. П., Ермощенко, А. К.* Общие вопросы применения методологии имитационного моделирования для оценки эколого-экономической эффективности проектов градостроительной деятельности. Известия ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". –2011.–11(9): 94–97.

9. Vensim Product Center. Date Views 07.07.2013 http://www.vensim.com/

10. Динамика изменения численности автопарка транспортных средств [Электронный ресурс] . – [2013]. – Режим доступа: http://do.gendocs.ru/docs/index-371943.html?page=6.

11. Сведения о количестве зарегистрированного транспорта в Волгоградской области. Date Views 05.07.2013 http://platesmania.com/newforum/index.php/topic/5477/

12. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. – [2013]. – Режим доступа: http://www.gibdd.ru/stat.

13. Безопасность дорожного движения. Концепция нулевой смертности [Электронный ресурс]. – [2013]. – Режим доступа: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/roadsafe/unda/Sweden_Rus_VisionZero.pdf.

УДК 658.58:621

Т. В. Нгуен, А. В. Кизим

СТРАТЕГИИ, МЕТОДЫ ПОДДЕРЖКИ И МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ТОиР ОБОРУДОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

ntv8706@yahoo.com, kizim@mail.ru

В статье рассмотрены разные стратегии для технического обслуживания и ремонта. Показана связь между изменением технического состояния оборудования и принимаемой стратегией ремонтов. Выделены группы средств поддержки и повышения эффективности ТОиР, основные проблемы организации эффективного проведения ТОиР. На основе анализа предметной области ремонтной службы предложена и обоснована ее модель, ориентированная на повышение качества в управлении техническим обслуживанием и ремонтом.

Ключевые слова: оборудование, техническое обслуживание и ремонт оборудования, ТОиР, эффективное использование ресурсов оборудования, техническое состояние, модель, математический метод.

T. V. Nguyen, A. V. Kizim

STRATEGY, SUPPORT METODS AND MODEL CONTROL MRO EQUIPMENT

Volgograd State Technical University

In this article different stratagies of MRO were examined. The relationship between plant technical state and strategy of maintenance was shown. Support facility and rising performance groups was marked.In the foundation of analysis region object MRO, model was considered,which orients to rise quality of maintenance management.

Keywords: plant, equipment, maintenance, MRO, efficent use plant resource, technical state, model, mathematics metod.

В настоящее время на любом промышленном предприятии существует ремонтная служба (техническое обслуживание и ремонт-ТОиР), целью функционирования которой является поддержание оборудования в работоспособном состоянии. Эффективность ее работы в значительной степени определяется принятыми методами решения задач и взаимосвязями между ними в рамках общей системы. Известно значительное количество различных схем, описывающих взаимосвязи подразделений предприятия, направленных на выполнение ремонтов. Как правило, основой для их разработки являлись существующие исторически сложившиеся структуры ремонтной службы. Такой подход явился причиной дублирования информации и задач, наличия неоптимальных связей между ними и т.д. в рамках существующих структур ремонтной службы.

Для разработки оптимальной структуры ремонтной службы, адаптированной к условиям конкретного предприятия, необходимо использовать формальные методы. В этом случае ремонтная служба рассматривается как система, объектами воздействия которой являются оборудование и его элементы.

Известно, что в процессе эксплуатации оборудования техническое состояние (ТС) **Y** любого его элемента (детали) непрерывно ухудшается под воздействием внешней среды (рис. 1).

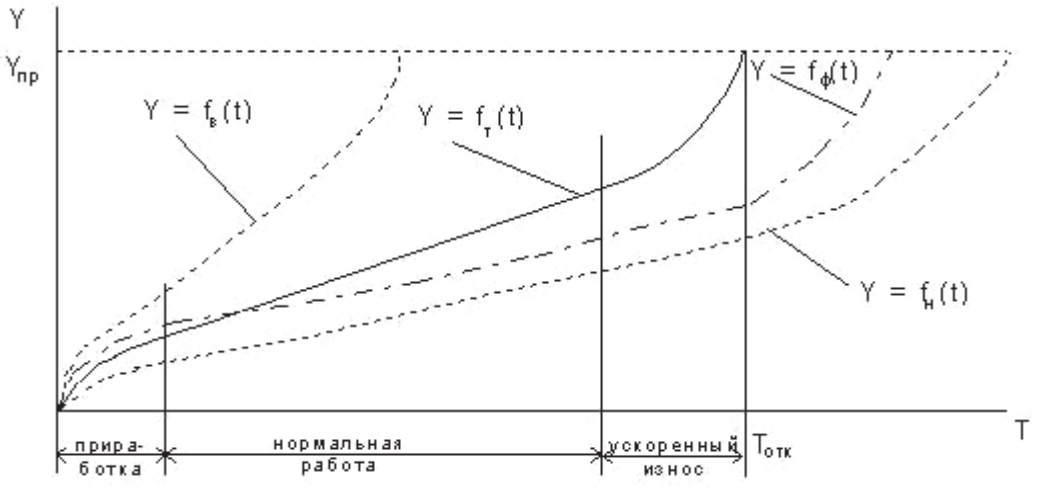


Рис. 1. Типичная кривая износа

При достижении предельного состояния $Y_{пр}$ в момент времени $T_{отк}$ элемент отказывает, и выполняется ремонт с целью восстановления его работоспособности. В общем случае процесс изменения ТС элемента оборудования может быть описан типичной кривой износа [1], на которой можно выделить три характерных участка: приработки, нормальной работы, ускоренного износа.

Учитывая стохастический характер факторов, влияющих на изменение ТС, можно считать, что функция $Y = f_T(t)$ является трендом (математическим ожиданием) изменения ТС объекта в случае средних условий его эксплуатации. Изменение ТС реального объекта $Y = f_ф(t)$ будет лежать между границей $Y= f_B(t)$ соответствующей самым тяжелым условиям эксплуатации и $Y = f_H(t)$ соответствующего самым легким условиям эксплуатации. В общем случае функция $Y = f_ф(t)$ не совпадает с трендом $Y = f_T(t)$ и граничными функциями $Y= f_B(t)$, $Y = f_H(t)$.

В зависимости от того, какая из рассмотренных функций используется при планировании и организации ремонтов возможны три стратегии.

Стратегия, в основе которой лежит выполнение аварийных ремонтов, базируется на кривой $Y = f_ф(T)$ и не предусматривает прогнозирования срока отказа $T_{отк}$. При ее использовании за срок отказа принимается срок фактического достижения функцией $Y=f_ф(T)$ значения $Y_{пр}$. Эта стратегия очень простая и предполагает, что ремонты выполняются после не запланированной остановки оборудования в результате разрушения его деталей. При этом происходит разрушение и соседних деталей, а ремонтная служба не готова к проведению ремонта. Это приводит к увеличенному расходу ресурсов необходимых для восстановления работоспособного состояния оборудования (запасных частей, количеству ремонтных бригад, времени простоя оборудования в ремонте).

В случае планово-предупредительных ремонтов по нормативу (ремонты по нормативу) срок отказа прогнозируется с использованием кривой $Y= f_B(t)$. При этом прогноз базируется на нормативном ресурсе определяемом усреднено по группе машин или в целом по отрасли с учетом требуемой вероятности безотказной работы P(t)оборудования. В случае ремонтов по нормативу остановка оборудования и замена деталей выполняется через строго регламентированные промежутки времени равные нормативному ресурсу. Во время ремонта все узлы и детали, выработавшие нормативный ресурс, заменяются новыми. Такой подход приводит к преждевременной замене деталей и неполному использованию их фактического ресурса, однако обеспечивает допустимое (расчетное) количество аварийных отказов.

Планово-предупредительные ремонты по техническому состоянию (ремонты по состоянию) предполагают, что с помощью средств технической диагностики, или иными методами, оценивается текущее ТС детали, описываемое кривой $Y = f_ф(T)$. Эти данные используются для прогнозирования срока ее отказа и замены. Такой подход значительно повышает точность прогнозасроков отказа детали, что позволяет назначать сроки ремонта наиболее близкие $T_{отк}$, следовательно максимально снизить затраты на ремонты. Однако переход к ремонтам по состоянию требует как усложнения структуры ремонтной службы, так и методов решения ее задач, базирующиеся на результатах диагностики.

Средство поддержки и повышения эффективности ТОиР

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

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

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

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

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

– отраслевые стандарты ТОиР, по отдельным отраслям;

– стандарты корпораций или предприятий, например «Лукойла».

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

4) отдельные методы, решающие частные проблемы. [2]

Можно сделать вывод, что имеющихся в нашей стране средств поддержки организации ТОиР явно недостаточно [3], и необходима разработка и адаптация широкого спектра современных средств поддержки ТОиР, в том числе методическое обеспечение [4; 5], программноинформационные системы [6], математические методы и алгоритмы решения задач [3; 6]. В мировой практике организации и поддержки ТОиР имеются инструменты такого рода (например, методологии RCM, TPM; методы FMEA, FMECA, RCA и другие), но по различным причинам они не применяются или применяются в недостаточной мере).

Модель поддержки ТОиР с использованием техники в соответствии с уровнем ее надежности

Исходя из проведенного анализа, наиболее прогрессивная стратегия ТОиР – по состоянию, может осуществляться двумя методами в зависимости от контролируемого показателя: с контролем уровня надежности и с контролем параметров.

При этом главная задача технической эксплуатации − оптимальное использование машин в соответствии с их техническим состоянием (ТС), состоит в распределении техники по объектам работы, соблюдая соответствие уровня надежности (УН) машин требуемому уровню надежности для конкретного объекта. Превышение УН над требуемым повлечет лишние затраты на обеспечение надежности машин. НедостаточныйУН вызовет возникновение ущерба из-за простоев.

Схема поддержки ТОиР с использованием техники по УН представлена на рис. 2. Контроль УН производится по значению коэффициента готовности оператором (3). Коэффициент готовности машины $Кг_i$ не должен быть меньше требуемого для j-го объекта $Кг_j$. В случае выполнения этого условия машина отправляется на объект работы. В противном случае производится оценка целесообразности повышения $Кг_i$ методами ТЭ по уровню рентабельности R_iмашины оператором (5). Если рентабельность ее использования превышает минимально допустимый уровень R_{min}, то производится повышение работоспособности методами ТЭ – оператор (6). Если $R_i<R_{min}$, то следует избавиться от нерентабельной машины средствами оператора (7).

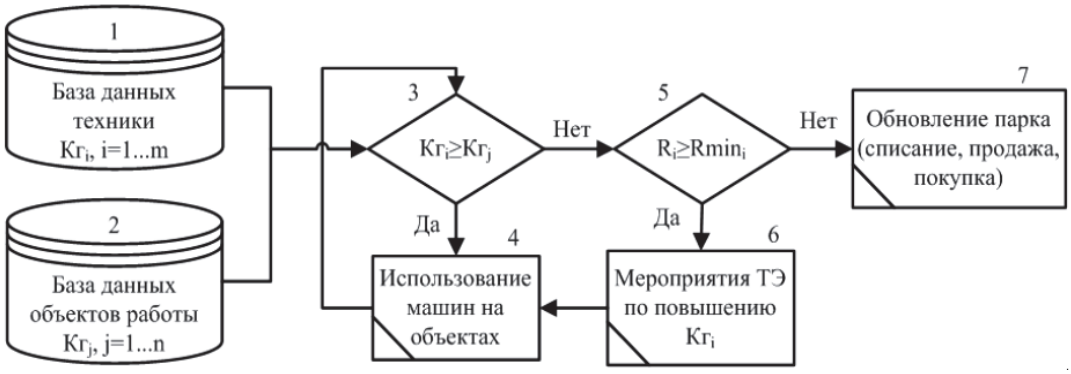


Рис. 2. Модельподдержки ТОиР с использованием техники в соответствии с уровнем ее надежности

Контроль УН в процессе использования машины производится оператором (3) путем сбора эксплуатационной информации по отказам, затратам, наработке и обработки с помощью математических моделей [7]. Контроль параметров технического состояния узлов машины осуществляется посредством диагностирования в процессе использования машины и проведения мероприятий ТОиР.

По результатам диагностирования проводится комплекс мероприятий по обеспечению работоспособности машин оператором (6). Значения контролируемых параметров служат основой для оперативного планирования мероприятий ТОиР, уровень надежности – тактического, путем введения корректирующих коэффициентов режимов ТОиР.

По окончании работы каждого оператора информация о машине и состоянии дел на объекте работы поступает в соответствующие базы данных.

Кроме того необходимо отметить, что с использованием подхода в [8], процесс поддержки обслуживания оборудования можно разделить на типовые этапы: определение целей и задач, определение и измерение ключевых процессных параметров, анализ информации, произведение улучшений и контроль. Такое разделение позволяет применять типизированные средства поддержки эксплуатации оборудования. Также по результатам проведенных исследований выделены следующие задачи информационной поддержки ТОиР на этапе эксплуатации оборудования: сбор и обработка данных о функционировании оборудования и процессе ТОиР; накопление, выделение, структурирование и использование знаний; анализ информации и поддержка принятия решений (ППР).

Таким образом, применение изложенной модели и планомерное отслеживание, а также специализированными математическими методами из выделенного комплекса средств поддержки, позволяет повысить качество ТОиР, эффективность использования оборудования и снизить затраты на жизненный цикл оборудования различных предприятий и организаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.*Седуш, В. Я.* Надежность ремонт и монтаж металлургических машин. К.: НМК ВО, 1992. -368с.

2. *Кизим, А.В.* Задачи и методы поддержки ТОиР оборудования на протяжении его жизненного цикла / А.В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 13 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - № 4 (91). - С. 55-59.

3. *Кизим, А. В.* Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Известия Волгоградского государственного технического университета :межвуз. сб. науч. ст. № 6(54) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в техн. системах. Вып. 6). – С. 118–121.

4. *Кизим, А. В.* Исследование и разработка методики автоматизации ремонтных работ предприятия / А. В. Кизим, Н. А. Линев // Известия Волгоградского государственного технического университета :межвуз. сб. науч. ст. № 2(40) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2008. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 4). – С. 43–45.

5. *Кизим, А. В.* О методологических аспектах решения задач программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта / А.В. Кизим, С.В. Шевченко //Вісник національного технічного університету «ХПІ»: зб. наук.праць. Тем.випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – 2011. – № 35. – С. 56–61.

6. *Кизим, А. В.* Постановка и решение задач автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (Доклады ТУСУРа). – 2009. – № 2 (декабрь). – С. 131–135.

7.*Репин С.В.* Оптимизация показателей надежности строительных машин в эксплуатации // Строительные и дорожные машины. – 2006. – № 5. – С. 28-31.

8. Enterprise System Focused on Asset Performance Management. [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : http://www.reliasoft.com/pubs/reliasoft_orion.pdf.

УДК 004.912

А. Н. Солошенко, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев

АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕФЕРИРОВАНИЯ НОВОСТНЫХ ИНТЕРНЕТ-ТЕКСТОВ*

Волгоградский государственный технический университет

nastyasolan@gmail.com

Данная статья посвящена проблеме составления обзорных статей по текстам интернет-новостей. В статье рассматривается построение и структура новостного текста, этапы его анализа, принципы и методика составления рефератов по новостным статьям.

Ключевые слова: автоматизация реферирования, информационные ресурсы, новостные интернет-тексты, методы реферирования.

A. N. Soloshenko, Y. A. Orlova, V. L. Rozaliev

AUTOMATIZATION OF INTERNET NEWS TEXT ABSTRACTING

Volgograd State Technical University

This article is devoted to a problem of an automated abstracting – drawing up reviews in texts of Internet news. Construction and structure of the news text, stages of its analysis, principles and methods of drawing up of author's abstracts under news articles are considered.

Keywords: automated abstracting, information resources, Internet news texts, methods of abstracting.

* Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 12-07-00266, 12-07-00270).

Ежедневно в сети Интернет появляются миллионы страниц новостных текстов. Сотни тысяч людей описывают события и явления, берут интервью, создают посты в блогах. Так, например, только число ежедневных сообщений в Twitter приблизилось к отметке 400 миллионов записей в день, или почти 4,5 тысячи сообщений в секунду. Обработка информационного материала вручную требует колоссальных человеческих ресурсов, трудовых и временных затрат, поэтому и возникла задача создания методики для автоматизации реферирования статей. Потребности в средствах автоматического реферирования и аннотирования испытывают: корпоративные системы документооборота, поисковые машины и каталоги ресурсов Internet, автоматизированные информационно-библиотечные системы, каналы вещания, службы рассылки новостей и др. [7]

В России, как и за рубежом, данному направлению исследований придается очень большое значение [2; 5; 8]. В настоящее время известно большое количество систем автоматического реферирования текстов. Среди отечественных это TextAnalyst, Content Analyzer, технологии АОТ, RCO, редактор Microsoft Word, МедиаЛингва Аннотатор, система Яндекс Новостей, среди зарубежных - Extractor , QDA Miner, системы Inxight Summarizer (компонент поискового механизма AltaVista), Intelligent Text Miner (IBM). [4, 5] Однако многие ведущие системы разработаны на Западе и ориентированы исключительно на обработку западноевропейских языков, что делает их непригодными для анализа текстов на русском языке. Возможности некоторых отечественных систем ограничены выбором оригинальных фрагментов из исходного документа и соединением их в короткий текст на основе только статистических методов реферирования. [3]

Кроме того, мало систем ориентированы непосредственно на реферирование новостных текстов. Как правило, таковыми являются компоненты поисковые механизмы различных систем (Яндекс Новости, Inxight Summarizer, разработка Newblaster). Но и их задача – автоматическое аннотирование новостных кластеров (групп текстов заданной тематики), а не отдельных текстов, выбранных пользователем. [6]

Для упрощения изучения существующих и создания новых интернет-текстов необходимо представление статей в сжатом виде, но с сохранением их смысла (так, например, для публикации в твиттере новость необходимо сократить до 140 символов, но при этом не потерять сути). Поэтому для достижения наиболее оптимального результата необходимо совместить несколько алгоритмов реферирования. Рассмотрим специфику новостных статей, их структуру и методику автореферирования.

Структура новостного текста может варьироваться в зависимости от задач и определяется авторами индивидуально. Однако, как правило, для такого типа текстов характерна пирамидальная структура. В ее основу заложен принцип «перевернутой пирамиды», который требует размещение основной информации в самом начале материала и последующее ее раскрытие далее по тексту в деталях.

Проанализировав ряд статей, представленных на известных новостных сайтах, таких как сайт газет Lenta.ru, NewsRu.com, Коммерсант.ru, Эксперт (и других, относящихся к топ-30 новостных порталов Рунета), можно построить обобщенную структуру текста новости (рис. 1).

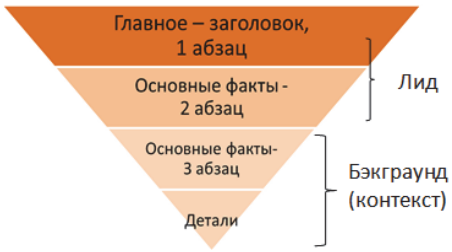


Рис. 1. Структура новостного текста

- Заголовок новости отражает ее тему и содержит не более 10 слов (около 80 символов). Так, для примера, в Яндексе отображается не более 15-ти

слов в тайтле, Google показывает до 70 слов.

- Основные факты, касающиеся события, отражены в 1-2 абзацах, и составляют так называемый лид текста (освещает главную тему).

- 3-й и последующие абзацы составляют бэкграунд новости (контекст). Как правило, здесь раскрываются детали происходящего, дается информация, напрямую касающаяся новости.

Поэтому, зная особенности построения интернет-текстов, можно определить, какие проблемы ставит автор текста, выделить ключевые факты новостной статьи, определить объекта и субъекта новости, составить связный реферат. Далее в работе будет рассмотрена методика автоматизации реферирования таких текстов.

На сегодняшний день существует множество путей решения задачи реферирования. Для обработки новостных текстов будем применять

традиционный подход квазиреферирования, предложенный Г. Луном, с некоторыми модификациями.

Решение задачи реферирования текста новости можно разбить на несколько этапов (отражены на рис. 2).

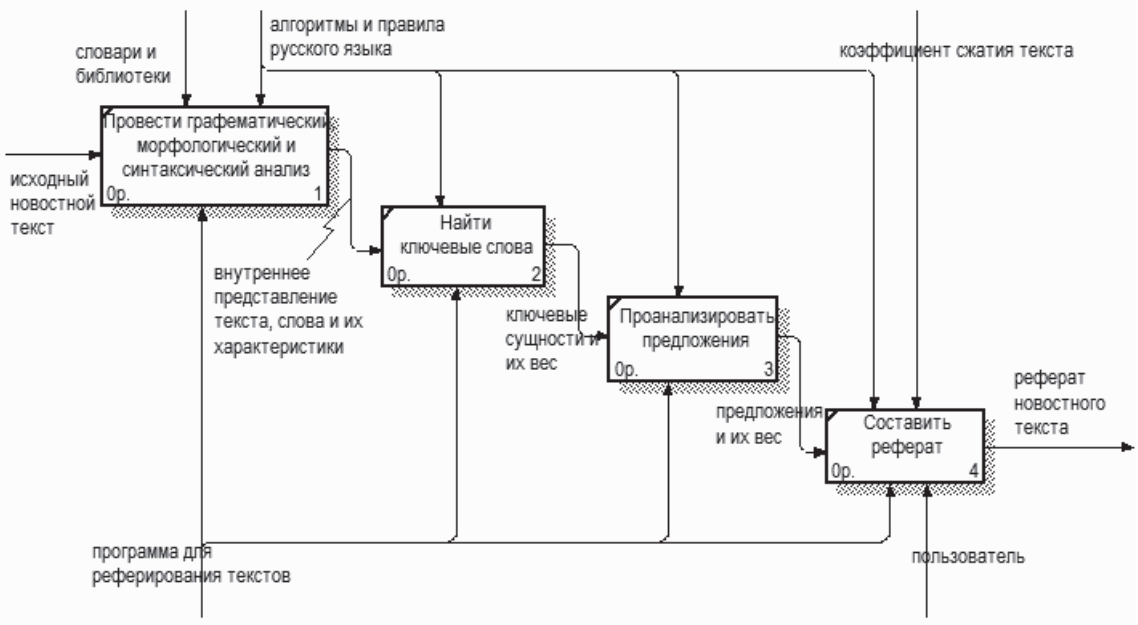


Рис. 2. Последовательность действий при реферировании

Графематический анализ представляет собой начальный этап обработки текста, в ходе которого определяются элементы грамматической структуры текста. [4] На данном этапе вырабатывается информация, необходимая для дальнейшей обработки морфологическим и синтаксическим анализаторами. [6] В задачу графематического анализа входит внутреннее представление структуры новости: T = <P, S, W>, где P – абзацы, S – предложения, W – слова. При этом необходимо корректно выделить заголовок и первое предложение абзаца, содержащее основные факты статьи.

Следующим этапом является морфологический анализ, цель которого –

построение морфологической интерпретации слов входного текста. Все методы можно поделить на словарные и вероятностно-статистические (без использования словаря). Недостатками первых являются большой объем лексиконов, плохая работа на малой выборке, отсутствие точных лингвистические методов. Словарный же метод основан на подключении словаря, тезаруса, дает максимально полный анализ словоформы.

Поэтому для данного блока была выбрана библиотека MCR.dll. Морфоанализ здесь построен на основе словаря А.А. Зализняка, содержащего порядка 100 тысяч слов общеупотребительной лексики языка, который прилагается к программным модулям. Для каждого слова входного текста выдается множество морфологических интерпретаций следующего вида: морфологическая часть речи; лемма – каноническая форма лексемы (например, существительное в и.п. ед.ч. или глагол–инфинитив); множество наборов граммем – элементарных описателей, относящих слово-форму к какому–либо морфологическому классу (род, одушевленность, число, падеж). [5] Для работы с незнакомыми словами целесообразно использовать стеммер Портера.

Алгоритм морфологического анализа представлен на рис. 3.

Синтаксический анализ рассматривается как задача построения дерева

зависимостей предложения. Задача создания такого анализатора является довольно трудоемкой, поэтому разрабатывается упрощенный синтаксический анализатор для разбиения сложных предложений на простые.

Для выделения же ключевых слов в настоящее время разработано множество методов. Наиболее известные из низ - TF-IDF и C-Value.

TF-IDF – статистическая мера, используемая для оценки важности слова в контексте документа. TF – отношение числа вхождения не-

которого слова к общему количеству слов документа.

$$TF = \frac{n_i}{\sum_k n_k} \quad (1)$$

Рис. 3. Алгоритм морфологического анализа

IDF – инверсия частоты, с которой слово встречается в документе, ее учет уменьшает вес широкоупотребительных слов.

$$IDF = \log \frac{|D|}{|(d_i \supset t_i)|} \quad (2)$$

где |D| — количество документов в корпусе; $|(d_i \supset t_i)|$ - количество документов, в которых встречается t_i (когда $n_i \neq 0$).

Мера TF-IDF является произведением двух сомножителей: TF и IDF.

Метод C-Value позволяет сопоставить каждой извлеченной из текста именной группе значение терминологичности, вычисляемое по формуле:

$$C-Value(a) - \begin{cases} \log_2 |a| \cdot freq(a), \text{ если не вложен} \\ \log_2 |a| \cdot freq(a) - \frac{1}{P(T_a)} \cdot \sum_{b \in T_a} freq(b) \end{cases} \quad (3)$$

где a – кандидат в термины, |a| - длина словосочетания в количестве слов, freq(a) – частотность a, T_a – множество словосочетаний, содержащих a, $P(T_a)$ – количество словосочетаний, содержащих a. [2]

Однако отметим, что для новостных текстов уже существуют программные модули для извлечения ключевых сущностей. К таковым относится *SDK*, полностью написанный на C#.NET. Поэтому для программы разработан алгоритм поиска ключевых слов, сочетающий выделение именованных сущностей из текста новости (на основе результатов морфологического анализа и подключаемого модуля SDK), подсчет веса слова с учетом частоты его встречаемости (рис. 4).

Рис. 4. Алгоритм поиска ключевых фраз

Пороговое значение для признания слова ключевым рассчитывается по формуле: Порог. Знач. = 0,2 max ОЧ (4), где ОЧ – относительная частота встречаемости кандидата в ключевые слова в тексте.

Для составления выдержек необходимо выделить характерные фрагменты. Среди наиболее известных методов – выделение фрагментов «объект-действие-субъект» (с использованием POS-таггера AOT для определения частей речи), реализация которого основана на использовании модификации алгоритма LexRank, а также ранжирование связных тематических структур с использованием алгоритма Manifold Ranking, где связная структура текста описывается при помощи матриц. [6]

Перед составлением аннотации новости необходимо выполнить следующую обработку предложений текста (рис. 5).

Подсчет веса предложений осуществляется в зависимости от его нахождения в тексте. Для заголовка и предложений первого абзаца

$$Ws = N(kw)\cdot Rf(kw),$$

где Ws – вес предложения, N(kw) – количество вхождений ключевого слова в предложение, Rf(kw) – относительная частота ключевого слова. Для остальных предложений:

$$Ws = N(kw)\cdot Rf(kw)\cdot 0{,}8.$$

В аннотацию включаются предложения с наибольшим весом, в зависимости от заданного коэффициента сжатия.

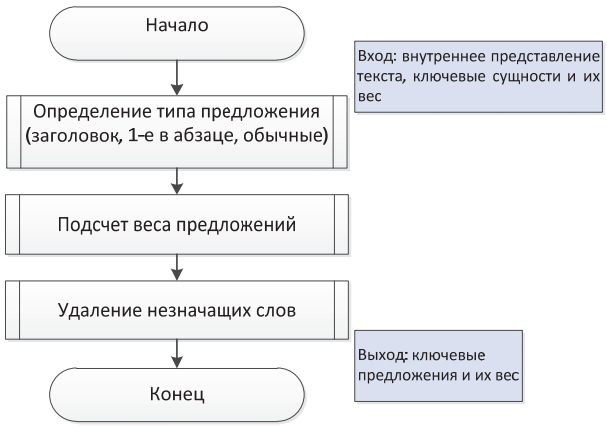


Рис. 5. Алгоритм анализа предложений

Кроме перечисленных блоков, в разрабатываемой программе планируется реализация интеграции с новостными интернет сайтами, возможность сокращения текста для твиттера.

Рассмотрим работу алгоритма составления реферата текста на примере новостного сообщения, взятого из Интернет, под заголовком «Медики выяснили, в какое время суток человек чувствует себя счастливым»:

«Ученые из США потратили два года на то, чтобы узнать - в какое время суток человек чувствует себя наиболее счастливым? Ученые анализировали сообщения Твиттера. Всего изучались 600 млн. сообщений от 2,5 млн пользователей из более 80 государств. В ходе исследования выяснилось, что пользователи оказались более счастливы утром. К вечеру эмоциональное настроение людей постепенно портится.

Кроме того, выяснилось, что самое хорошее настроение у людей бывает в зимние месяцы: с декабря по январь, сообщает epidemiolog.ru. Однако, надо уточнить: счастливый период заканчивается, скорее всего, не в конце января, а 16-го. Это третий понедельник января, который считается самым депрессивным днем в году.

К такому выводу пришел британский психолог Клифф Арнэлл из Университета Кардиффа. Он вывел сложную формулу, которая учитывает отвратительную, как правило, погоду, то, что праздники прошли и надо браться за работу, надо как-то планировать свое будущее. Не радует и то, что до следующих праздников далеко.

Путем деления и умножения специальных коэффициентов, отражающих вышеозначенное состояние человеческой души в середине января, ученый якобы и получил дату, соответствующую третьему понедельнику.» [1]

В результате применения алгоритма предполагается получить следующие результаты.

Ключевые фразы: надо, ученые, выяснилось, настроение, людей, человек, Твиттер, узнать, время суток, чувствует, наиболее счастливым, третий понедельник.

Автореферат текста: «Ученые из США потратили два года на то, чтобы узнать - в какое время суток человек чувствует себя наиболее счастливым? В ходе исследования выяснилось, что пользователи оказались более счастливы утром. Надо уточнить: счастливый период заканчивается, не в конце января, а 16-го. Это третий понедельник января, который считается самым депрессивным днем в году. К такому выводу пришел британский психолог Клифф Арнэлл из Университета Кардиффа. Он вывел сложную формулу, которая учитывает отвратительную, как правило, погоду, то, что праздники прошли и надо браться за работу, надо как-то планировать свое будущее».

Таким образом, была разработана методика реферирования новостных интернет-текстов, основываясь на совмещении и модификации существующих алгоритмов составления реферата. В условиях нынешнего информационного века, с огромным количеством новостных сообщений в сети интернет, применение таких технологий является необходимостью, так как значительно ускоряет обработку повседневной информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Главные события политической жизни/ KP.RU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kp.md/daily/25982.5/2915545/.

2. *Браславский П., Соколов Е.* Сравнение пяти методов извлечения терминов произвольной длины// Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По

материалам ежегодной Международной конференции «Диалог». Вып. 7 (14). – М.: РГГУ, 2008. - С. 67-74.

3. *Заболеева-Зотова, А.В.* Моделирование лексического анализа текста технического задания / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А. // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах": межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2007. - Вып.2, №2. - С. 50-53.

4. *Заболеева-Зотова, А.В.* Автоматизация процедур семантического анализа текста технического задания / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А. // Известия ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах": межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2007. - Вып.3, №9. - С. 52-55.

5. *Орлова, Ю.А.* Алгоритмическое обеспечение анализа текста технического задания и построения моделей программного обеспечения / Орлова Ю.А. // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2010. - № 6. - С. 68-72

6. *Орлова, Ю.А.* Расширенная нечеткая атрибутная грамматика над фреймовой структурой текста технического задания/ Ю. А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (71) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып.9). – С. 60-63.

7. Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Бобков А.С. // Открытое образование. - 2011. - № 2. - С. 59-62.

8. *Тарасов С. Д.* Алгоритм ранжирования связных структур в задачах автоматического составления обзорных рефератов новостных сюжетов. // RuSSIR'2008, труды Второй Российской конференции молодых ученых по информационному поиску. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2008. – С. 90-100.

9. Automated identification of human emotions based on analysis of body movements / Заболеева-Зотова А.В., Бобков А.С., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Половинкин А.И. // Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23-26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conferences Interfaces and Human Computer Interaction and Game and Entertainment Technologies 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 299-304.

10. Formalization of inital stage of designing multi-component software / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Фоменков С.А., Петровский А.Б. // Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23-26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conference Intelligent Systems and Agents 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 107-111.

УДК 007.5; 004.85

С. Ф. Чалый, Е. О. Богатов

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ СТРУКТУРИЗАЦИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

s_chaliy@mail.ru, bogatovevgeniy@gmail.com

В статье представлены модели и методы предварительной структуризации наборов исходных данных в задачах интеллектуального анализа процессов. Выделены требования к представлению исходных данных (журналов регистрации событий), построена обобщенная модель журнала регистрации событий, предложены методы структуризации. Приведенные результаты расширяют сферу применения методов интеллектуального анализа процессов.

Ключевые слова: бизнес-процесс, журнал регистрации событий, интеллектуальный анализ процессов, процессно-ориентированные системы.

S. F. Chaliy, E. O. Bogatov

THE MODELS AND METHODS OF LOG FILES PROCESSING BASED ON PROCESS MINING TECHNOLOGY

Kharkov National University of Radioelectronics

The models and methods of restructuring of a sources data sets in processes mining assignments are presented in article. The requirements to submission of initial data (event logs) are identified, was constructed a generalized model of the event logs and methods of structuring was proposed in article . The results that was proposed in article extends the scope of processes mining applications.

Keywords: business-process, event log, processes mining, process-oriented systems.

Введение

В настоящее время в мире эксплуатируется не менее полумиллиона процессно-ориентированных систем, в основе работы которых лежат документированные бизнес-процессы [1-3]. Под бизнес-процессом понимают последовательность работ, которая по заданной технологии преобразует входы бизнес-процесса в его

выходы [3]. В основе процессных систем лежат модели бизнес-процессов. Процессно-ориентированные системы функционируют, интерпретируя модели бизнес-процессов. Ход выполнения бизнес-процессов в таких системах отражается с помощью журнальных файлов (логов, журналов регистрации событий). Файлы логов фиксируют последовательности событий, возникающих при выполнении бизнес-процессов, с указанием атрибутов этих событий.

Журнальные файлы могут быть использованы для построения моделей новых, недокументированных процессов, а также проверки адекватности существующих моделей. Для этого используются методы интеллектуального анализа процессов (process mining). Существующие методы требуют, чтобы исходные данные имели четко определенную структуру, отражающую происходившие события с указанием временных меток, исполнителей действий процесса и объектов, над которыми эти действия выполнялись.

Все изложенное и определяет актуальность проблематики формирования наборов исходных данных для решения задач интеллектуального анализа процессов.

Анализ литературы

В работах [1,3] представлено общее описание технологии интеллектуального анализа процессов (ИАП), структуры журнала регистрации событий (ЖРС), а также базовых методов и подходов данной технологии. Следует отметить, что существующие методы ИАП ориентированы на структурированные журналы регистрации событий, которые формируются процессно-ориентированными системами. Для использования методов ИАП с логами традиционных, функционально-ориентированных информационных систем, необходимо выполнить предварительную структуризацию ЖРС.

В ряде работ [4,5] рассмотрены методы преобразования неструктурированных (в смысле процессного подхода) журналов регистрации событий к структурированному виду, однако данные методы не обобщают модель неструктурированного ЖРС, с выделением необходимых направлений его упорядочивания, что значительно сужает область их применения.

Таким образом, проблема предварительной структуризации журналов регистрации событий с приведением их к виду, пригодному для решения задач интеллектуального анализа процессов, безусловно, является актуальной.

Постановка задачи

Задача данного исследования заключается в формализации представления неструктурированного (в смысле процессного подхода) ЖРС, а также разработке методов трансформации его структуры для использования в качестве наборов исходных данных при построении моделей бизнес-процессов методами ИАП.

Исходными данными задачи являются: типовая структура журнала регистрации событий процессно-ориентированной системы, содержащая информацию о частично-упорядоченной последовательности событий бизнес-процесса с указанием их атрибутов; типовая структура журнала регистрации событий традиционной (не процессно-ориентированной) информационной системы, описание событий в которой не упорядочено по процессам.

Необходимо выявить ограничения на использовании неструктурированных ЖРС в имеющихся методах, обобщить и формализовать структуру журнала регистрации событий для традиционных функционально – ориентированных систем, а также предложить методы предварительной структуризации таких журналов.

Требования к структуре исходных данных при решении задач ИАП

Общие требования к структуре исходных данных при решении задач ИАП приведены в работе [1]. Уточним данные требования на основе анализа базового алгоритма ИАП. Базовый алгоритм технологии включает в себя 8 этапов.

Базовый алгоритм технологии ИАП состоит из 8 этапов. Первый этап данного алгоритма подразумевает выделение последовательности процедур БП, за заданный промежуток времени. В роли процедур выступает типовой элемент журнала case, который определяется как множество событий журнального файла L. На втором этапе определяются начальные события процедур, которые определены в журнале как первое событие каждой из вошедших в рассматриваемый журнал процедур. На третьем этапе определяются заключительные события путем поиска последних событий в каждой из рассматриваемых процедур. Определение начальных и заключительных событий осуществляется путем сравнения времени наступления того или иного события процедуры. На четвертом этапе выделяются наборы входных и выходных переходов. При этом на четвертом этапе отмечается, что элементы входящие во входное или выходное множества процедур не

могут располагаться друг за другом, т.е. должно происходить обязательное чередование элементов каждого из множеств. Таким образом осуществляется верификация следования событий БП. На пятом этапе происходит сокращение области допустимых значений, происходит отбор максимальных по размеру последовательностей событий, т.е. осуществляется отсев событий, процедур с частотой меньше заданного порогового значения. На шестом этапе в происходит дополнение пятого этапа уникальными входными и выходными позициями. На седьмом этапе мы формируем дуги, по средствам выявленных заключительных и начальных событий. Данные этапы выделяется в связи с тем что базовый алгоритм изначально разрабатывался для представления бизнес-процессов по средствам сетей Петри. На последнем этапе осуществляется построение модели БП по средствам сетей Петри. Результаты данного анализа представлены в табл. 1.

Анализ исходных данных для базового алгоритма ИАП

Шаги алгоритма	Элементы журнального файла				
	Процедура	Событие	Временная отметка	Объект	Пользователь
Выделение последовательности процедур БП	+	+	+	–/+	–/+
Формирование множества начальных событий	+	+	+	–/+	–/+
Формирование множества начальных событий	+	+	+	–/+	–/+
Верификация выделенных начальных и конечных событий связей между процедурами	+	+	+	–/+	–/+
Фильтрация рассматриваемых процедур по пороговому значению	+	–/+	–/+	–/+	–/+
Формирование дуг сети Петри	+	+	–	–	–
Выделение уникальных входных и выходных позиций	+	+	–	–	–
Формирование сети	+	+	+	–/+	–/+

Примечание . + - используется, – -не используется, –/+ - используется неявно.

Обобщив анализ литературы и выполненный анализа алгоритма, приходим к выводу, что для журнального файла характерны следующие особенности: зарегистрированные события отражают элементарные действия в информационной системе; зарегистрированные события имеют атрибут времени; зарегистрированные события, как правило, связаны с теми или иными ресурсам, объектами, исполнителями. Для проведения интеллектуального анализа процессов структура журнального файла должна содержать следующие элементы: идентификатор последовательности выполнения процедуры; событие; временной параметр; объект; исполнитель.

Модели журналов регистрации событий

Выполненный анализ позволяет уточнить обобщенную модель журнала регистрации событий процессно-ориентированной системы. В такой модели ключевым является временной порядок событий в рамках ситуаций (case). Каждая из таких ситуаций соответствует бизнес-процессу либо его части (подпроцессу). Таким образом, журнальные файлы процессно-ориентированных систем описываются в виде наборов событий, каждый из которых отражает упорядоченное во времени подмножество действий, происходивших в i- ситуации c_i. Для каждой ситуации бизнес-процесса задается отношение порядка относительно времени $\coprod_t$ для каждой пары соседних элементов (e_{t_k}, e_{t_l}):

$$G_{Bp} = \{c_i\}, c_i = \{E_j\}, E_j \subseteq E, \left(\forall e_{t_k}, e_{t_l} \in E_j\right) \exists \coprod_t (e_{t_k}, e_{t_l}) \quad (1)$$

где E – множество событий в ЖРС; e_{t_k}, e_{t_l} – события, которые произошли (начали выполняться) в моменты времени t_k и t_l

Данное отношение порядка определяет, что между событиями e_{t_k}, e_{t_l} на шкале времени в ЖРС не существует промежуточных событий:

В свою очередь, каждое событие процесса e_n характеризуется следующим набором параметров:

$$e_n = (t_n^*, t_n^{**}, obj_s, isp_p), \quad (2)$$

где t_n^*, t_n^{**} – моменты времени начала и завершения события e_n; obj_s – объект, с которым рабо-

тает процедура процесса, отраженная в ЖРС в виде события e_n ; isp_p - исполнитель процедуры процесса, отраженной в ЖРС в виде события e_n.

Для выполнения структуризации журнала регистрации событий традиционной информационной системы модель (1) следует дополнить отношениями порядка $\coprod_{Obj}(e_{obj_q}, e_{obj_d})$ и $\coprod_{Os}(isp_p, isp_r)$ по исполнителям и объектам бизнес-процесса. Такое дополнение позволит разбить единую последовательность событий на подпроцессы, связанные с последовательностью действий выбранного подмножества исполнителей либо действий по обработке выбранного подмножества объектов. Тогда, модель неструктурированного журнала имеет следующий вид:

$$G_{Fp} = \{E_j\},\ E_j \subseteq E, E_j = \{e_n\},\ e_n = (t_n^*, t_n^{**}, obj_s, isp_p)\ (\forall e_k, e_l \in E_j)(\exists \coprod_{obj,Os,t}(e_k, e_l)) \quad (3)$$

где $\coprod_{obj,Os,t}(e_k, e_l)$ − отношение порядка на множестве объектов, на множестве исполнителей и по времени.

Методы подготовки наборов исходных данных для задач ИАП

Формализация моделей представления журналов регистрации событий позволяет предложить следующие методы их структуризации для решения задач ИАП:

– метод формирования ограничений в задаче структуризации журналов регистрации событий;

– метод предварительной обработки журналов регистрации событий в задачах интеллектуального анализа процессов.

Приведем краткую характеристику разработанных методов.

Метод формирования ограничений в задаче структуризации журналов регистрации событий реализует выявление причинно-следственных связей между событиями, объектами, пользователями бизнес-процесса на основе анализа ЖРС. Метод включает в себя следующие этапы:

– формирование перечня объектов, с которыми оперирует процесс на основе анализа журнала регистрации событий;

– формирование набора ограничений по событиям,объектами, исполнителями, на протекание БП;

– верификация полученных результатов.

Метод предварительной обработки журналов регистрации событий в задачах интеллектуального анализа процессов позволяет выделить подмножество событий ЖРС, соответствующее одному бизнес-процессу (подпроцессу), связанному с обработкой заданных наборов объектов или работой заданного подмножества исполнителей. Метод включает в себя следующие основные этапы:

– отбор подмножеств событий, происходивших в заданном интервале времени, и связанных с этими событиями объектов;

– отбор подмножеств событий для заданного набора объектов с которыми оперирует процесс;

– сортировка событий по времени, а затем на основе причинно следственных связей между объектами;

– выявление начальных и конечных событий будущих последовательностей для каждого отобранного подмножества;

– формирование процессно-ориентированного журнала на основе частично упорядоченных последовательностей событий.

Метод предварительной обработки журналов регистрации событий упорядочивает выделенное подмножество элементов журнала таким образом, чтобы получившийся набор данных мог быть использован для построения модели бизнес-процесса методами интеллектуального анализа процессов.

Результаты экспериментального исследования

В настоящее время при решении задач ИАП на основе неструктурированных по процессам данных, помимо предложенных автором методов, разработаны методы направленные на реорганизацию выходной модели и методы, основанные на кластеризации данных.

Первый метод направлен на выявление структуры в полученной слабоструктурированной модели бизнес-процесса. Метод включает пошаговую очистку результирующей модели посредством: группировки связанной информации по кластерам, сокрытия слабосвязанной информации, дополнительного графического

выделения важных для БП элементов, фильтрации неактуальной в рассматриваемом контексте информации [4]. Адекватность формируемой модели для данного метода в значительной степени зависит от знаний аналитика в области моделирования бизнес-процессов.

Второй метод позволяет сформировать группы подобных объектов, которые в ряде случаев являются основанием для выделения траектории реализации бизнес-процесса, однако не учитывает наличие петлей и циклов в анализируемом процессе [5].

При проведении экспериментального исследования предложенных методов были использованы модели бизнес-процессов на ЗАО «Хладопром».

Результаты исследования показали, что комбинация двух предложенных методов позволяет повысить точность определения связей между процедурами бизнес-процесса не менее чем на 15%. Точность выявления параллельных ветвей бизнес-процесса практически не отличается от результатов, полученных при применении альтернативных методов.

Выводы

В статье исследованы особенности формирования наборов исходных данных при решении задач интеллектуального анализа процессов. Выделены требования к таким данным. Предложены формализованное представление наборов исходных данных для задач ИАП как при работе с процессно-ориентированными, так и традиционными информационными системами. Предложены методы преобразования исходных данных к виду, пригодному для решения задач ИАП. Полученные научные результаты расширяют сферу применения методов интеллектуального анализа процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *W. M. P. van der Aalst*. Process Mining : Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / W. M. P. van der Aalst. – N.–Y. : Springer Verlag. – 2011. – 370.

2. *W. M. P. van der Aalst*. Process–Aware Information Systems: Lessons to be Learned from Process Mining / W. M. P. van der Aalst // Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency II. – Eindhoven: Springer Berlin Heidelberg., 2009. – 1–26 pp.

3. *Репин В.В.* Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. / В.В.Репин, В.Г.Елиферов. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2005.— 408 с.

4. *Liqiang Geng.* Discovering Structured Event Logs from Unstructured Audit Trails for Workflow Mining / Liqiang Geng, Scott Buffett, Bruce Hamilton // Foundations of Intelligent Systems. ISMIS. – Prague: Springer Berlin Heidelberg. – 2009. – 442 – 452 pp.

5. *W. M. P. van der Aalst*. Finding Structure in U nstructure d Processes: The Case for Process Mining / W.M.P. van der Aalst, C.W. Gunther // Application of Concurrency to System Design, 2007. ACSD 2007. – Bratislava: ACSD, 2007. – 3–12 pp.

УДК 621.311; 519.816

В. А. Шакиров, В. А. Фадеев

МОДЕЛЬ АНАЛИЗА РАЗВИТИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Братский государственный университет

mynovember@mail.ru, carfaddey15@rambler.ru

В статье предлагается системный подход к проблеме развития генерирующих мощностей в изолированном районе. Предложена модель, описывающая последствия строительства тепловой электрической станции. Предложено использование нечеткого вывода для агрегации оценок факторов в рассматриваемой модели. Представлены результаты моделирования и оценки экологических последствий.

Ключевые слова: системный подход, воздействия тепловой электростанции, экологические последствия, нечеткий вывод.

V. A. Shakirov, V. A. Fadeev

MODEL ANALYSIS OF DEVELOPMENT OF GENERATING CAPACITY BASED ON FUZZY INFERENCE

Bratsk State University

In this article system approach to the problem of development of generating capacity in isolated areas is proposed. The model describing the consequences of thermal power plants building is proposed. It is proposed to use fuzzy inference for aggregation factor scores in this model. The results of modeling and evaluation of ecological implications are presented.

Keywords: system approach, effects of thermal power plant, ecological implications, fuzzy inference.

Строительство электрических станций сопряжено с экономическими, экологическими, социальными воздействиями, с необходимостью учета факторов общественного мнения, факторов здоровья и безопасности населения [1]. При анализе вариантов развития генерирующих мощностей необходимо дать оценку возможных последствий. Однако, при формализации воздействий электрической станции возникает ряд сложностей. Наряду с воздействиями, которые могут быть оценены количественно – некоторые экологические показатели, существуют воздействия, формализация которых затруднительна, например – социальные. По ряду показателей, в условиях ограниченных финансовых, трудовых, временных ресурсов, не могут быть даны точные оценки, иногда даже интервалы оценок, например экологические последствия при добыче угля в неосвоенном районе. Таким образом, возникает проблема описания воздействий, агрегации разнородных оценок воздействий.

В качестве объекта исследования будем рассматривать проблему анализа последствий развития генерирующих мощностей в изолированном районе. Под изолированными районами будем понимать удаленные, малоразвитые и энергодефицитные районы. Вследствие удаленности, для энергетики таких районов является характерным либо полное отсутствие, либо наличие слабых связей с внешней энергосистемой. Учитывая изолированность, необходимо учитывать обеспеченность района энергоресурсами, риски невостребованности мощности электростанции.

Представим систему воздействий электрической станции в виде взаимосвязанных подсистем однородных влияющих факторов. На рис. 1 представлен предлагаемый вариант декомпозиции системы, который можно рассматривать как модель анализа последствий ввода в работу тепловой электростанции (ТЭС) на угле в перспективном изолированном районе.

Прямоугольником отмечены целевые факторы, т.е. такие факторы, значения которых контролируется, окружностью – промежуточные факторы. Значения целевых факторов дают всю необходимую информацию о проблеме, исходя из ранее отмеченных особенностей.

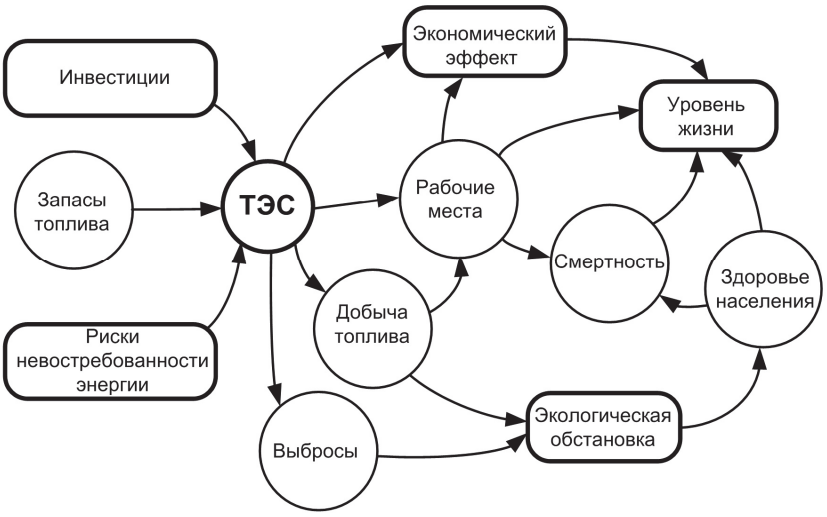


Рис. 1. Модель анализа последствий строительства ТЭС в изолированном районе

Каждый вариант установленной мощности электростанции «запускает» модель – определяет размер налоговых поступлений в бюджеты различных уровней, количество рабочих мест. Эти факторы влияют на целевой фактор «уровень жизни» и т.д. Таким образом, модель позволяет оценить последствия от реализации всех вариантов строительства ТЭС. Факторы «инвестиции», «запасы топлива», «риски невостребованности энергии» ограничивают диапазон возможных установленных мощностей ТЭС в районе. Эти факторы требуют предварительной работы экспертов, в задачу которых входит анализ источников финансирования, оценка возможных запасов топлива в районе.

Особенностью модели является сочетание хорошо и плохо формализуемых факторов, связей. Так, для оценки выбросов в атмосферу, экономических воздействий может применяться аппарат имитационного моделирования [2]. Для анализа влияния экологической обстановки на здоровье населения, влияния экономической

обстановки на уровень жизни потребуется применение подходов, позволяющих использовать преимущественно не количественную, а качественную информацию, аппарата теории нечетких множеств [3], когнитивного моделирования [4].

Авторами предлагается использовать нечеткий вывод для агрегации оценок воздействий разнородных факторов. Нечеткий вывод представляет собой преобразование входных переменных в выходные переменные на основе использования нечетких правил.

Рассмотрим процедуру агрегации промежуточных факторов подробно на примере влияния ТЭС на экологическую обстановку в районе. В качестве примера изолированного района рассмотрим Северо-Эвенский район Магаданской области. Моделирование проводится для ТЭС установленной мощностью 6-200 МВт. Для каждого значения из диапазона установленных мощностей производится выбор паровых котлов, турбин и генераторов ТЭС. На рис. 2 представлен детализированный фрагмент модели, описывающий экологическое воздействие ТЭС.

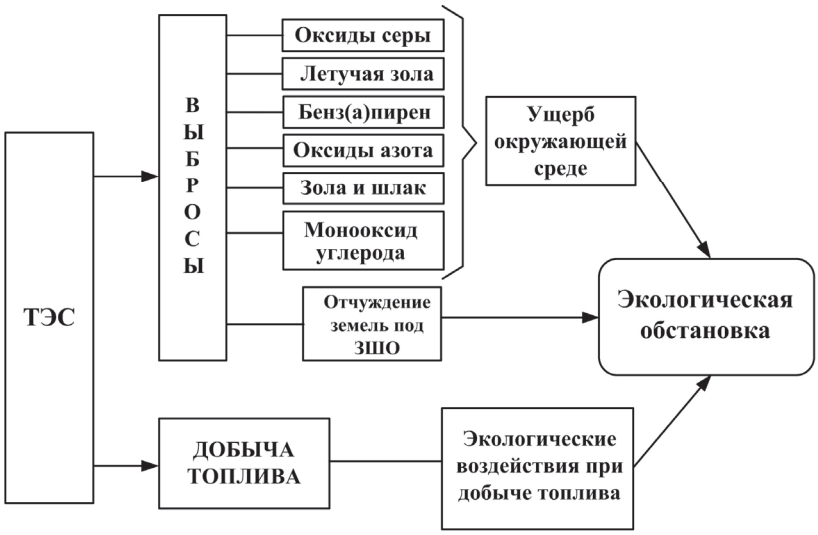


Рис. 2. Экологическое воздействие ТЭС

Целевой фактор «Экологическая обстановка» определяется двумя факторами «Выбросы» и «Добыча топлива» (рис. 1). Фактор «Выбросы» будет включать в себя набор основных загрязняющих веществ (экологическое влияние), а также площадь отчуждаемой земли под золошлакоотвал (ЗШО) (рис. 2). Отчуждение земли в непосредственной близости с населенным пунктом влияет на экологическую обстановку, общественное мнение.

Перед применением нечеткого вывода необходимо провести количественную, а при невозможности – качественную оценку воздействий в зависимости от мощности электрической станции.

В таблице приведены результаты расчета, согласно действующим нормативным документам, валовых выбросов: твердых частиц, оксидов серы, оксида азота, монооксида углерода, бенз(а)пирена, а также оценки площади отчуждения земли под ЗШО при сжигании бурых углей Чайбухинского месторождения [5].

Результаты моделирования экологических воздействий ТЭС

Установленная мощность, МВт	Расход топлива, т/год	Выбросы твердых частиц, т/год	Выбросы SO_2, т/год	Выбросы NO_2, т/год	Выбросы CO, т/год	Выбросы бенз(а)пирена, т/год	Отчуждение земли под ЗШО, га
6	94260,9	1361,46	1455,77	79,31	581,23	0,000211	5,2
12	196470,2	2800,00	3034,29	243,34	0,00	0,000439	10,5
16	257874,4	3724,63	3982,61	216,98	1590,10	0,000576	14,1
18	276772,8	3984,30	4274,48	283,51	1710,97	0,000618	15,1
20	335933,5	4787,57	5188,16	416,08	0,00	0,000750	18,1
24	392940,4	5600,00	6068,57	486,68	0,00	0,000878	21,2

Окончание таблицы

Установленная мощность, МВт	Расход топлива, т/год	Выбросы твердых частиц, т/год	Выбросы SO_2, т/год	Выбросы NO_2, т/год	Выбросы CO, т/год	Выбросы бенз(а)пирена, т/год	Отчуждение земли под ЗШО, га
30	461288,1	6640,50	7124,13	472,51	2851,62	0,001030	25,1
36	553545,7	7968,60	8548,96	567,02	3421,94	0,001236	30,2
42	687645,7	9800,01	10620,00	851,69	0,00	0,001536	37,1
48	708997,4	10206,42	10949,76	726,25	4382,92	0,001584	38,6
50	500025,7	7126,13	7722,40	841,04	0,00	0,001117	27
60	608031,3	8665,38	9390,43	1022,71	0,00	0,001358	32,8
70	625632,2	8916,22	9662,26	1052,31	0,00	0,001397	33,8
75	750038,6	10689,20	11583,60	1261,57	0,00	0,001675	40,5
80	704036,2	10033,59	10873,13	1184,19	0,00	0,001572	38
90	912046,9	12998,07	14085,65	1534,06	0,00	0,002037	49,2
100	846150,2	12058,94	13067,94	1410,79	0,00	0,001890	45,5
105	938448,2	13374,33	14493,39	1578,47	0,00	0,002096	50,6
120	1056054,3	15050,39	16309,70	1776,29	0,00	0,002359	56,8
125	1250064,2	17815,33	19305,99	2102,61	0,00	0,002792	67,4
140	1251264,3	17832,43	19324,53	2104,63	0,00	0,002795	67,5
150	1269225,3	18088,41	19601,92	2116,18	0,00	0,002835	68,5
160	1408072,4	20067,19	21746,27	2368,38	0,00	0,003145	76
175	1564080,4	22290,54	24155,66	2630,79	0,00	0,003493	84,4
200	1692300,4	24117,87	26135,89	2821,57	0,00	0,003780	91,2

Наиболее корректно учесть вклад такого количества разнообразных составляющих выбросов можно путем экономической оценки ущерба. На рис. 3 представлена зависимость ущерба, наносимого окружающей среде от установленной мощности ТЭС.

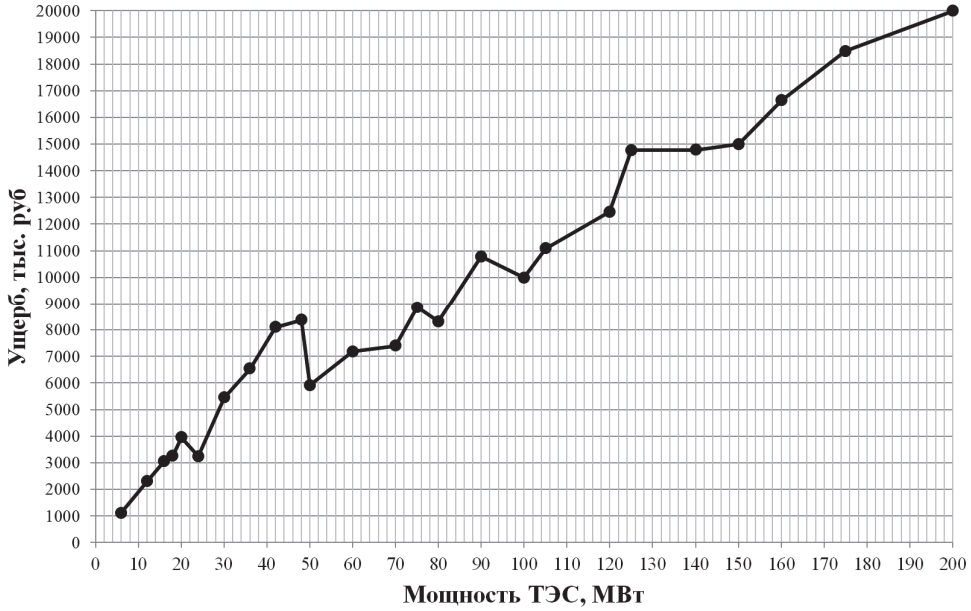


Рис. 3. Результаты экономической оценки ущерба окружающей среде от выбросов ТЭС

Перейдем к оценке воздействий второго промежуточный фактор – «Добыча топлива» (рис. 1). При добыче угля открытым способом негативное воздействие на экологическую об-

становку обусловлено проведением буровых, взрывных а также погрузочно-разгрузочных работ. Усложняет проблему оценки экологического воздействия предприятия угледобычи в неосвоенном удаленном районе высокая степени неопределенности в исходных данных. Одним из способов решение данной проблемы является качественная оценка воздействия экспертами («слабое», «сильное» и т.п.).

Таким образом, значения фактора «Экологическая обстановка» будут определяться тремя разнородными составляющими (см. рис. 2): ущербом окружающей среде (руб.), отчуждением земли под ЗШО (га) и экологическим воздействием при добыче топлива (качественная оценка).

В данном исследовании для агрегации воздействий предлагается использовать получивший широкое распространение алгоритм нечеткого вывода Мамдани. Для выполнения процедуры нечеткого вывода необходимо представить входные и выходные переменные в виде лингвистических переменных. Так, каждую входную переменную можно представить в виде кортежа: <β, T, X>, где β – название лингвистической переменной; T – базовое термножество лингвистической переменной, каждое из которых представляет собой наименование отдельной нечеткой переменной α; X – область определения нечетких переменных. Входные переменные были представлены в виде лингвистических: «Ущерб» – T={«минимальный», «выше минимального», «средний», «выше среднего», «максимальный»}, X=[0-20]; «Отчуждение земли» – T={«малое», «среднее», «большое»}, X=[0-91,2]; «Добыча топлива» – T={«малая», «средняя», «большая»}, X=[0-1692,3]. Выходная переменная «Экологическая обстановка» была также представлена в виде лингвистической переменной: T={«0», «0,1», «0,2»,… «1»}, X=[0-1], т.е. выходная лингвистическая переменная по своей сути является нечеткой искусственной шкалой.

На рис. 4-7 представлены графики функций принадлежности термов входных и выходной лингвистических переменных.

Рис. 4. Графики функций принадлежности термов входной лингвистической переменной «Ущерб окружающей среде»

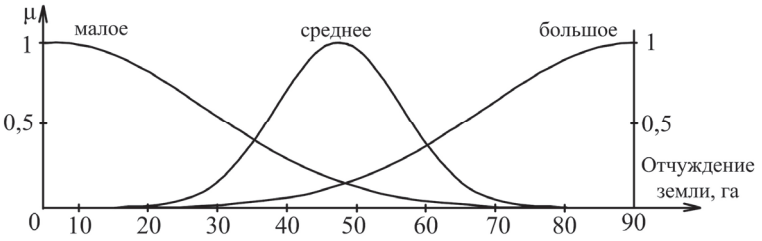


Рис. 5. Графики функций принадлежности термов входной лингвистической переменной «Отчуждение земли»

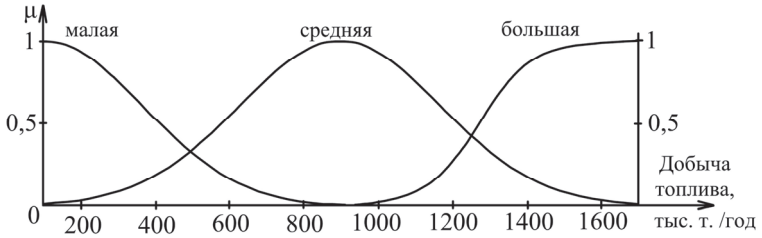


Рис. 6. Графики функций принадлежности термов входной лингвистической переменной «Добыча топлива»

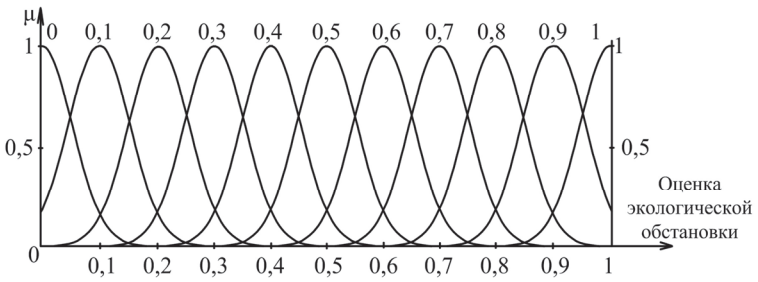


Рис. 7. Графики функций принадлежности термов выходной лингвистической переменной «Экологическая обстановка»

База правил нечеткой продукции системы нечеткого вывода представлена на рис. 8. Проводятся известные процедуры фаззификации, агрегирования, активации, аккумуляции и дефаззификации [3]. В результате получены оценки экологической обстановки для каждого варианта мощности ТЭС. На рис. 9 представлены результаты нечеткого вывода в виде зависимости значений фактора «Экологическая обстановка» от установленной мощности ТЭС.

1. If (Ущерб is минимальный) and (Отчуждение_земли is малое) and (Добыча_топлива is малая) then (Экологическая_обстановка is 0,9) (1)
2. If (Ущерб is минимальный) and (Отчуждение_земли is среднее) and (Добыча_топлива is малая) then (Экологическая_обстановка is 0,9) (1)
3. If (Ущерб is минимальный) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is малая) then (Экологическая_обстановка is 0,8) (1)
4. If (Ущерб is минимальный) and (Отчуждение_земли is малое) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,8) (1)
5. If (Ущерб is минимальный) and (Отчуждение_земли is малое) and (Добыча_топлива is большая) then (Экологическая_обстановка is 0,8) (1)
6. If (Ущерб is выше_минимального) and (Отчуждение_земли is малое) and (Добыча_топлива is малая) then (Экологическая_обстановка is 0,8) (1)
7. If (Ущерб is выше_минимального) and (Отчуждение_земли is среднее) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,7) (1)
8. If (Ущерб is выше_минимального) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is большая) then (Экологическая_обстановка is0,7) (1)
9. If (Ущерб is средний) and (Отчуждение_земли is среднее) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,6) (1)
10. If (Ущерб is средний) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,6) (1)
11. If (Ущерб is средний) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is большое) then (Экологическая_обстановка is 0,5) (1)
12. If (Ущерб is выше_среднего) and (Отчуждение_земли is среднее) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,4) (1)
13. If (Ущерб is выше_среднего) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,4) (1)
14. If (Ущерб is выше_среднего) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_большая is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,3) (1)
15. If (Ущерб is максимальный) and (Отчуждение_земли is среднее) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,2) (1)
16. If (Ущерб is максимальный) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,1) (1)
17. If (Ущерб is максимальный) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is большая) then (Экологическая_обстановка is 0,1) (1)

Рис. 8. База правил нечеткой продукции системы нечеткого вывода

Анализ зависимости (рис. 9) показывает, что она являются практическим зеркальным отображением зависимости, представленной на рис. 3, т. е. высоким значениям ущерба соответствуют низкие значения фактора «Экологическая обстановка». Отличия этих зависимостей обусловлены влиянием факторов «Добыча топлива» и «Отчуждение земли».

Таким образом, можно утверждать, что процедура нечеткого вывода позволяет адекватно провести агрегацию воздействий, описываемых количественными и качественными оценками.

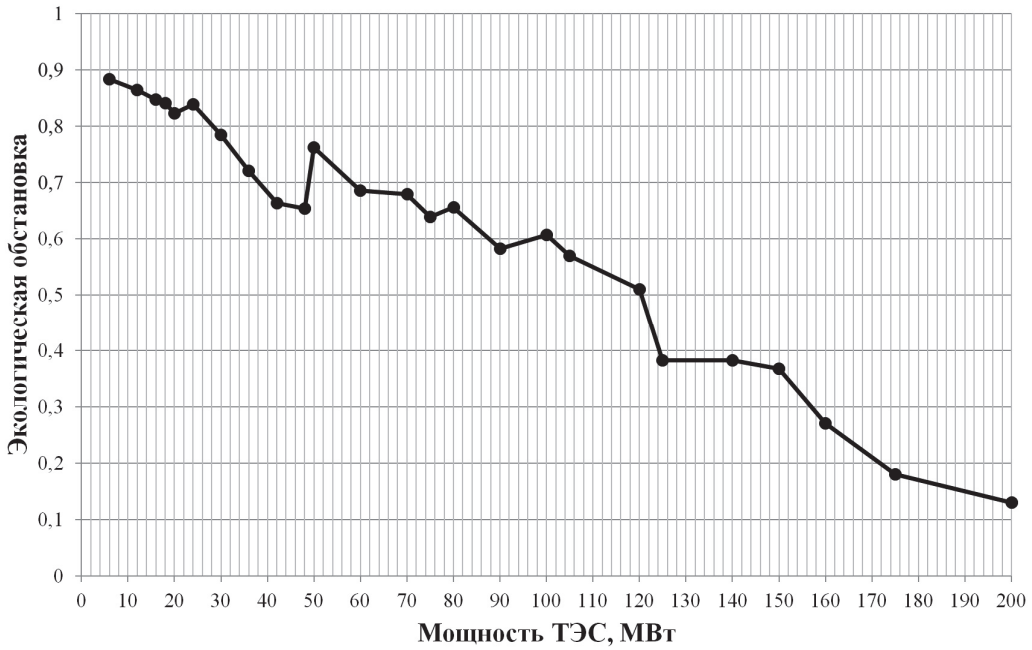


Рис. 9. Результаты нечеткого вывода

Аналогичным образом можно получить значения остальных целевых факторов (см. рис 1).

Рассмотрение проблемы развития генерирующих мощностей как системы, позволяет выявить структуру данной проблемы, определить взаимовлияния факторов, сформулировать набор альтернативных вариантов.

Представленная модель позволяет получить для каждого альтернативного варианта значения целевых факторов, т.е. оценки по основным критериям альтернативы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кини, Р.* Размещение энергетических объектов: выбор решений. Пер. с англ / Р. Кини. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

2. *Кобелев, Н.Б.* Основы имитационного моделирования сложных экономических систем / Н.Б. Кобелев. – М.: Дело, 2003. – 336 с.

3. *Леоненков, А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: Издательство БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

4. *Горелова, Г.В.* Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход / Г.В. Горелова, Е.Н. Захарова, С.А. Радченко. – Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2006. – 332 с.

5. *Фадеев В.А.* Модель последствий строительства тепловой электростанции в изолированном районе / В.А. Фадеев, В.А. Шакиров // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – №2 (18). – С. 53-58.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 519.2+681.3

Ю. М. Брумштейн

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ И МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ПОДГОТОВКОЙ И ОПУБЛИКОВАНИЕМ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Астраханский государственный университет

brum2003@mail.ru

Показана важность подготовки и опубликования научных статей (НС) для формирования интеллектуальных ресурсов общества, развития социально-экономических систем. Охарактеризовано понятие «научного сообщества». Показаны причины его заинтересованности в публикациях НС. Рассмотрены вопросы мотивации публикационной активности и возможности управления потоками публикаций. С позиций авторов НС проанализированы основные факторы и модели оптимального выбора состава подготавливаемых НС, журналов для их опубликования.

Ключевые слова: научные статьи, авторы, создание, мотивация, выбор журнала, принятие решений, анализ рисков, математические модели.

Ju. M. Brumshteyn

FACTORS AND MODELS ANALYSIS OF DECISION-MAKING, CONNECTED WITH PREPARATION AND PUBLICATION OF SCIENTIFIC ARTICLES

Astrakhan State University

Importance of preparation and publication of scientific articles (SA) for formation of society intellectual resources, development of social and economic systems is shown. The «scientific community» concept is characterized. The reasons of its interest in SA publications are shown. Questions of publication activity motivation and possibilities of management for publications flows are considered. In article from positions of SA authors are analyzed major factors and models for optimum choice of structure for prepared SA, magazines for their publication

Keywords: scientific articles, authors, creation, motivation, magazine choice, decision-making, risk analysis, mathematical models.

В условиях развития «экономики основанной на знаниях», подготовка и опубликование (ПиО) научных статей (НС) - одно из важнейших направлений формирования интеллектуальных ресурсов общества/стран, обеспечения их доступности для физических лиц/организаций и, как следствие, создание условий для успешного социально-экономического развития стран, отраслей, регионов. Однако некоторые вопросы формализации принятия и реализации решений, связанных с ПиО НС, остаются исследованными недостаточно полно. В данной статье ставилась цель частично устранить этот пробел за счет анализа факторов, учитываемых при принятии решений о ПиО НС; разработки математических «моделей поведения» научных сообществ и авторов статей. «Модели поведения» редакций научных журналов (НЖ) и рецензентов будут рассмотрены в другой работе.

Под термином «научное сообщество» [4] мы будем понимать совокупность лиц, профессионально занимающихся научной деятельностью и участвующих в информационном обмене по крайней мере по «своим» направлениям исследований. Можно говорить об интернациональных, национальных, региональных, отраслевых научных сообществах. Основными «информационными факторами», обеспечивающими формирование/развитие научных сообществ можно считать: издание НЖ; обеспечение их доступности для заинтересованных лиц и организаций; проведение научных конференций, симпозиумов, семинаров и пр.; опубликование материалов таких мероприятий; личное общение ученых – очное и дистанционное (онлайновое и офлайновое). Укажем факторы, связанные с развитием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), влияю-

щие на процессы ПиО НС: резкое снижение трудоемкости подготовки НС авторами за счет использования ПЭВМ для набора/корректировки текстов, создания иллюстраций и иных целей [6], проведения вычислительных экспериментов и пр.; сокращение сроков обмена информацией между авторами и редакциями; для многих направлений исследований – интернационализация научной деятельности; доступность значительной части текстов ранее опубликованных НС, информационных материалов и пр. в электронной форме через Интернет; возможность использования авторами мощных средств поиска информации в Интернете (однако здесь есть и специфические проблемы, в т.ч. связанные с «идентификацией» авторов НС [11]); возможности дистанционного проведения конференций, вебинаров и пр. в реальном времени на основе систем аудиовидеосвязи через Интернет. «Инновации» в отношении технологий опубликования НС: рост количества «электронных НЖ»; использование авторами «электронных депозитариев НС» (однако качество помещаемых в них материалов если вообще контролируется, то значительно слабее, чем в НЖ); издание печатных сборников тезисов/статей конференций с приложением CD-дисков, в т.ч. с высококачественной графикой, презентациями докладов, видеороликами (для НЖ использование CD пока не характерно); оперативное размещение материалов и даже видеозаписей некоторых конференций в Интернете.

Интенсификация информационных и иных взаимосвязей между отдельными учеными, их объединениями (в т.ч. и не формальными – например, в виде «профессиональных социальных сетей» в Интернете [8]), научными организациями и пр. увеличила возможности «саморегулирования» и «саморазвития» интернационального и национальных научных сообществ (ННС); участия их в выборе приоритетных направлений исследований; управлении структурой и уровнями требований НЖ; оценках их рейтингов; определении значимости вкладов организаций и исследователей в развитие науки [7,9,12]; поддержке качества публикуемых НС [4].

Одновременно с «саморегулированием» во многих странах применяются меры прямого или косвенного государственного управления (ГУ) научной деятельностью, поддержки приоритетных научных направлений, работы молодых исследователей. По крайней мере в России, меры ГУ в значительной степени отражают позицию той части ННС, которая заинтересована в развитии полезных для общества научных исследований. Такие меры касаются, в частности, поддержки деятельности Российского Индекса Научного Цитирования (РИНЦ); правил защит диссертаций; наличия у диссертантов необходимого количества публикаций в ВАКовских НЖ; открытия новых НЖ; изменения категорий существующих НЖ и пр. Количество и «качество» публикаций в НЖ учитываются при определении зарплат/премий ученым, присуждении ученых званий [3], избраниях на должности по конкурсу, предоставлении грантов и пр. Поэтому ПиО НС для исследователей нужны и субъективно, и объективно [1,10]. Присоединение России к Болонскому процессу [5] и изменение требований ВАКа к диссертациям уже начинают оказывать влияние на приоритеты деятельности авторов, прежде всего работающих в вузах.

Научное сообщество заинтересовано в тематической структуризации (ТС) потока НС для улучшения их доступности; обеспечении качества (в т.ч. исключении плагиата) и полноты охвата направлений исследований. Издание НЖ как раз и призвано обеспечить решение этих задач. Наращивание числа публикаций несущих мало новой информации (или не несущих ее вообще), снижает доступность полезных НС для потенциальных потребителей, ухудшает условия принятия и реализации решений отдельными учеными; органами контроля и управления научной деятельностью, присуждения ученых степеней и званий, аттестации персонала. Появление в НЖ статей с плагиатом наносит вред исследователям и репутации журналов, является нарушением их информационной безопасности [2].

Простейшую математическую модель оценки полезности обществу потока НС по ***k***-ому направлению исследований (Ω_k) представим в виде

$$\Omega_k = \left(\sum_{i=1}^{I^{(k)}} d_i^{(k)} (P_i^{(k)} - N_i^{(k)}) \right) - \lambda^{(k)} \left(\left| I^{(k)} - I_{opt}^{(k)} \right| \right) / I_{opt}^{K)} \quad (1)$$

где $I^{(k)}$ - количество новых НС за год по ***k***-ому направлению (может быть оценено с использованием, например, статистической подсистемы в РИНЦ и/или иных системах учета/анализа публикаций); ***i*** - индекс статьи; $d_i^{(k)}$ - коэффициент доступности ***i***-ой статьи по ***k***-ому направлению ($0 \le d_i^{(k)} \le 1$); с позиций общества $P_i^{(k)}$,

$N_i^{(k)}$ - это позитивные и негативные эффекты от публикации ***i***-ой НС, соответствующие ее полной доступности, т.е. $d_i^{(k)} = 0$; $I_{opt}^{(k)}$ - оптимальное количество для потока публикаций по ***k***-ому направлению; $\lambda^{(k)}$ - коэффициент, определяющей значимость различий $I^{(k)}$ и $I_{opt}^{(k)}$. Для $I_{opt}^{(k)}$ и $\lambda^{(k)}$ предполагаются экспертные оценки, причем мы имеем в виду объективно необходимое для общества (страны) $I_{opt}^{(k)}$, а не субъективно желательное для заинтересованных групп авторов. Эта модель носит «оперативный» характер, в ней ранее опубликованные НС и иные материалы могут быть учтены косвенно – через значения $\left\{P_i^{(k)}; N_i^{(k)}\right\}_{i=1...I^{(k)}}$. Доступность НС определяется наличием ее текста в Интернете в свободном доступе; стоимостью и длительностью платного получения копии НС; «языковыми барьерами»; тиражами НЖ; качеством (полнотой) отражения НС в системах учета публикаций и цитирований и пр. При этом считается, что «цитируемость» НС отражает ее востребованность научным сообществом.

Более сложные по сравнению с (1) модели нуждаются в отдельном рассмотрении, вне рамок настоящей статьи. В них, в частности, могут быть учтены: объемы уже накопленных интеллектуальных ресурсов по отдельным направлениям (с учетом «морального старения» знаний, по мере появления новых НС; изменения значимости опубликованных НС при изменении социально-экономических ситуаций и пр.); изменения доступности НС со временем по мере развития ИКТ, передачи НС в открытый доступ и пр.); изменения уровней компетентности (квалификации) исследователей, средств ИКТ-поддержки работы с НС на иностранных языках – это может влиять на «возможности восприятия» НС потенциальными авторами.

В простейшем случае в (1) можно принять

$$\lambda^{(k)} = \begin{cases} \lambda_+^{(k)} __ при __ I_{opt}^{(k)} \geq I_{opt}^{(k)} \\ \lambda_-^{(k)} __ при __ I_{opt}^{(k)} \leq I_{opt}^{(k)} \end{cases} \qquad (2)$$

однако обычно зависимости $\lambda^{(k)} = \Phi\left(\left|I_{opt}^{(k)} \geq I_{opt}^{(k)}\right|\right)$ нелинейны, в т.ч. с $\lambda^{(k)} \approx 0$ при небольших отличиях между $I^{(k)}$ и $I_{opt}^{(k)}$. Продуктивно усреднение оценок для НС ***k***-ого направления по их доступности ($D^{(k)}$) и разницы между положительным и отрицательным эффектами ($R^{(k)}$) – она определяется, в основном, качеством НС, в меньшей степени их объемом. Тогда вместо (1)

$$\Omega_k = I^{(k)} D^{(k)} R^{(k)} - \lambda^{(k)} \left(\left|I^{(k)} - I_{opt}^{(k)}\right|\right) / I_{opt}^{(\kappa)} \qquad (3)$$

При учете «политематичности» НС, т.е. возможности отражения в них более чем одного направления исследований, вместо (1) получим

$$\Omega_k = \left(\sum_{i=1}^{I^{(k)}} \omega_i^{(k)} d_i^{(k)} (P_i^{(k)} - N_i^{(k)})\right) - \\ -\lambda^{(k)} \left(\left|\bar{\omega}^{(k)} I^{(k)} - I_{opt}^{(k)}\right|\right) / I_{opt}^{(\kappa)} \qquad (4)$$

где для ***k***-ого направления: $\omega_i^{(k)}$ - «доля» (степень соответствия) **i**-ой публикации ***k***-ому направлению; $\bar{\omega}^{(k)}$ - средняя «доля» по всем НС. Тогда

$$\Omega_k = \bar{\omega}^{(k)} I^{(k)} D^{(k)} R^{(k)} - \lambda^{(k)} \left(\left|\bar{\omega}^{(k)} I^{(k)} - I_{opt}^{(k)}\right|\right) / I_{opt}^{(k)} \qquad (5)$$

Исходя из (5) для потока НС «в целом» можно принять

$$\Omega^{(\Sigma)} = \sum_{k=1}^{K} \Omega_k \qquad (6)$$

где «***K***» - общее количество учитываемых направлений публикаций.

Управление количеством/качеством НС в НЖ по отдельным направлениям возможно за счет решений/мер принимаемых на уровне государства и/или издающих НЖ организаций (вузов, НИИ и пр.). Этим меры могут включать в себя: открытие/закрытие НЖ, в т.ч. в России с использованием «инструмента лицензирования»; изменения категорий (статусов) НЖ; корректировки политики оплаты НС в НЖ; изменение допустимых объемов НЖ, количества/периодичностей их выпусков, составов тематических рубрик; корректировки минимальных и максимальных размеров статей, принимаемых редакциями НЖ; изменение требований к графическим материалам, объемам/точности использованных экспериментальных данных; управление уровнями мотивации авторов [10] - в т.ч. за счет политики стимулирования публикаций по отдельным направлениям, правил присуждения ученых степеней, званий и пр.; мониторинга и управления импакт-факторами НЖ, в т.ч. с учетом «НЖ-конкурентов» по тематике НС.

Количество и качество НС, фактически публикуемых в отдельных НЖ, определяется такими взаимосвязанными факторами. (1) Уро-

вень требований редакций НЖ к публикуемым НС, в т.ч. в отношении новизны, актуальности, удобочитаемости. (2) Качество первоначально поступающих НС, на которое влияет научная репутация журнала, его импакт-фактор, уровень требований, стоимость публикаций. (3) Политикой редакций НЖ в отношении доработок НС авторами по замечаниям рецензентов. (3) Для большинства НЖ - соотношением количеств НС, присылаемых авторами и необходимых (требуемых) количеств для выпуска очередных номеров (4) Вероятной длительностью ожидания в очереди на опубликование в НЖ.

Рассмотрим «модели выбора» авторов. В России для них критически важными могут быть: публикации в разных НЖ; длительность рецензирования НС; время ожидания в очереди на опубликование; «категория» издания: (**а**) не ВАКовское и не отражаемое в РИНЦ; (**б**) не ВАКовское, но отражаемое в РИНЦ; (**в**) русскоязычное ВАКовское - их в России сейчас более 2 тысяч; (**г**) издания, отражаемые в Scopus и/или Web of Science. Отметим, что по отдельным отраслям и/или направлениям исследований авторитетными являются и иные системы учета публикаций/цитирований, но ВАКом учитываются лишь Scopus и Web of Science.

Количество русскоязычных ВАКовских журналов, соответствующих категории «**г**» на 1.09.2013 составляло всего несколько десятков, в то время как зарубежных НЖ – много тысяч. Однако, зарубежные НЖ в отношении опубликования НС для большинства Российских авторов малодоступны по таким причинам: слабое знание номенклатуры таких НЖ, особенно «широкого профиля»; «языковый барьер»; «неизвестность» Российских авторов для редакций зарубежных НЖ и рецензентов, в т.ч. и из-за отсутствия учета их русскоязычных НС в зарубежных системах цитирования; специфика некоторых Российских реалий по сравнению с зарубежными (для НС по естественным наукам, математике и пр. такой специфики нет); часто – большая длительность ожидания опубликования; в ряде случаев – высокая стоимость публикаций в престижных НЖ (некоторые организации в России, включая ряд вузов, уже начали компенсировать авторам такие расходы - путем денежных выплат после опубликования их НС).

Переходим к рассмотрению математических моделей. Примем такие допущения. (**д1**) Автор располагает объемами ресурсов $\{Q_n\}_{n=1...N}$, которые могут быть использованы для подготовки и опубликования статей, где N – количество учитываемых видов ресурсов - прежде всего, времени и денег. (**д2**) Автор потенциально может подготовить и отправить «M» НС, каждая из которых требует фактических затрат ресурсов, описываемых матрицей $\left[Z_{m,j}\right]_{m=1...M,\,j=1...J}$, где «$J$» - общее количество журналов, в которые могут направляться НС. Для простоты примем, что в $[Z]$ учтены трудоемкости доработок НС по требованиям редакций НЖ. При этом суммарные затраты ресурсов по совокупности выбранных пар «НС-НЖ» не могут превышать указанных в пункте «д2». Альтернативой таких «барьерных ограничений» может быть использование «штрафных функций» для учета превышений доступности ресурсов – однако это требует обоснованного задания функций штрафа. (**д3**) Матрица $\left[W_{m,j}\right]_{m=1...M,\,j=1...J}$ описывает вероятности приема этих НС журналами. «Непрофильности» НС для отдельных НЖ учтем заданием нулевых значений в матрице $[W]$. (**д4**) «Полезности» фактического опубликования НС для автора определяются матрицей $\left[U_{m,j}\right]_{m=1...M,\,j=1...J}$ - для простоты примем, что эти «полезности» взаимно независимы. (**д5**) Также примем, что автор не может отправлять одни и те же статьи в разные НЖ.

Оптимальное для автора решение определяется прямоугольной «бинарной» матрицей $\left[\Theta_{j,m}\right]_{m=1...M,\,j=1...J}$. В ней в одной строке может быть не более одной «**1**» (одна статья направляется в один НЖ); в одном столбце могут быть все «**0**» (в этот НЖ НС не направляются), единственная «**1**» (направляется одна НС), более одной «**1**» (в НЖ направляется две или более НС – если правила журнала допускают опубликование двух НС одного автора в номере или автора по срокам устраивают публикации в последовательных номерах). Критерий оптимальности решения можно принять как

$$\Psi = \max\left(\sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{Y}\left[Y_{m,j}\right]\right); \qquad (7)$$

$$\left[Y_{m,j}\right] = \left[\Theta_{m,j}\right]\left[W_{m,j}\right]\left[U_{m,j}\right] \qquad (8)$$

Значения коэффициентов в (8) находятся «поэлементным» умножением, а не по правилу матричного умножения типа «строка на столбец». Подчеркнем два обстоятельства. (*1*) Количество выбранных для подготовки/отправки

НС (обозначим его как «***F***»), может быть разным в зависимости от набора сочетаний «НС-НЖ». (***2***) Модель выбора на основе формул (7),(8) является «линейной» и не учитывает изменение «полезности» НС в зависимости от их количества. Например, превышение «критических» значений при подготовках к защитам кандидатских и докторских диссертаций может значительно снижать заинтересованность авторов. Ограничения на ресурсы для совокупности из «***F***» сочетаний «НС-НЖ» определяются

$$\left\{\sum_{f=1}^{F}\left[T^{*}_{f,\mathrm{n}}\right]\le Q_{\mathrm{n}}\right\}_{\mathrm{n}=1\ldots N} \qquad (9)$$

где $F \le M$, а «*» для $\left[T^{*}\right]$ означает, что берется «подматрица» полной матрицы, соответствующая только строкам $\left[\Theta\right]$, где есть элементы «**1**». Дополнительно целесообразно ограничивать «средний риск» выбора в виде

$$(\sum_{f=1}^{F} V_f)/F \le V^{*} \qquad (10)$$

где $\left\{V_f\right\}_{f=1\ldots F}$ - вектор вероятностей отказа в принятии НС редакциями НЖ для выбранных вариантов «НС – НЖ». Также могут ограничиваться риски отправок НС в отдельные НЖ, причем дифференцированно – с учетом «авторитетности» НЖ

$$\left\{V_f \le V_f^{**}\right\}_{f=1\ldots F} \qquad (11)$$

При относительно небольших величинах ***E=M*J*** оптимальный набор сочетаний «НС-НЖ» может быть достигнут «сплошным перебором» всех возможных вариантов с отбраковкой их по описанным выше ограничениям (см. выше). Однако если «***E***» велико, то целесообразно использовать «последовательный отбор» пар «НС-НЖ» - в порядке убывания элементов матрицы

$$\left[X\right]=\left[U\right]\left[W\right] \qquad (13)$$

(полученной поэлементным умножением матриц в правой части (13) - при соблюдении указанных выше ограничений. В некоторых случаях может быть оправданным использование и генетических алгоритмов.

Если у НС несколько соавторов с разными «матрицами полезностей» $\left[U\right]$, то постановка задачи оптимизации выбора становится значительно более громоздкой, т.к. приходится учитывать различия в предпочтениях соавторов, их «степенях влияния» на выбор пар «НС-НЖ» и пр.

Итак, **выводы**. **1.** Управление тематической направленностью, количеством и качеством публикуемых в НЖ статей в России сейчас осуществляться не только «издателями» журналов, но и на государственном уровне. **2.** Для развитых стран влияние государства на «публикационную политику» обычно минимально, хотя иногда поддерживаются публикации на национальных языках. **3.** Между большинством НЖ (кроме некоторых узкотематических) в России и мире, существует определенная конкуренция за актуальные НС хорошего качества, которые смогут обеспечить высокие импакт-факторы журналов. 4. Выбор авторами НЖ для публикации НС обычно осуществляется в две стадии: отбраковка принципиально «недопустимых вариантов» (например, по срокам опубликования, категории НЖ и пр.); выбор наилучшего набора сочетаний «НС-НЖ» из числа приемлемых вариантов. 5. При принятии решений, связанных ПиО НС, могут использоваться математические модели. Их практическая полезность во многом определяется точностями оценок используемых в них параметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Брумштейн Ю.М.* Научные статьи: анализ мотивации создания и технологий опубликования с позиций авторского права //Интеллектуальная собственность. Авторское право и смежные права. –2011 – № 4. –СС. 18–31.

2. *Брумштейн Ю. М., Петрова И. Ю., Попова Ю. Н.* Научная деятельность в региональных вузах: анализ вопросов информационной безопасности //Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Выпуск 14– №10(97)–2012– С.113–120

3. *Брумштейн Ю. М., Горюнова Т. А., Пугина Н. Н.* Анализ методов и математических моделей обеспечения вуза кадрами высшей квалификации... // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Выпуск 9– №11(71)–2010– С.81–84

4. *Бурганова Т.А.* Экспертная оценка – механизм поддержания качества научной публикации, требуемый научным сообществом //Вестник экономики, права и социологии. –2013.– № 2. –С.200–202.

5. *Кожевникова Н. Ю.* Влияние Болонского процесса на преобразование учебных бизнес-процессов и распределение ресурсов вуза //Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Выпуск 9– №11(71)–2010– С.98–102

6. *Маслов В.И., Седлер М.И., Степанова В.А.* Разработк PLM – системы подготовки научных статей к публикации //Современное машиностроение. Наука и образование. –2013. –№ 3. –С.481–490.

7. *Маркусова В.А., Крылова Т.А., Либкинд А.Н., Зиновьева И.В., Миндели Л.Э.* Библиометрические показатели федеральных и национальных университетов России

по по БД WEB of Science //Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы. –2013. –№ 2. – С. 24–37.

8. *Мельникова Н.И.* Научные социальные сетевые сервисы как средство дифференциации и интеграции научного сообщества //Вестник Саратовского государственного технического университета. –2013. – Т. 1. № 1. – С. 255–260.

9. *Разумова И.К.* Государственные проекты информационного обеспечения научной и образовательной деятельности. Динамика публикационной активности Российских ученых. //Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. –2011. –№ 3. – С. 105–109.

10. *Рощина Н.В.* Научная периодика сегодня: виды статей, цели публикаций и мотивации авторов //Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. –2010. –№ 3.– С. 136–144

11.*Умаров А.С., Попова Н.В., Зелепухина В.А.* Некоторые аспекты создания информационных систем для сбора и хранения научной и наукометрической информации // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии – 2013–№3–С.111–118

12. *Юмашева Е.И., Козлова И.В.* Публикационные показатели как зеркало реформирования Российской науки //Строительные материалы. –2013. –№ 9. –С. 66–69.

УДК 62-50

А. А. Кобзев, А. А. Махфуз

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЧЕТВЕРТОЙ ФОРМЫ ИНВАРИАНТНОСТИ В СИСТЕМАХ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых

kobzev42@mail.ru

В статье представлена реализация коррекции программного движения на основе четвертой формы инвариантности и применение управления в мехатронных, робототехнических и других технологических системах.

Ключевые слова: система управления, инвариантность, модификация, алгоритм.

A. A. Kobzev, A. A. Mahfouz

FEATURES OF REALIZATION OF THE FOURTH FORM OF INVARIANCY IN SYSTEMS OF PROGRAMMED CONTROL

Vladimir State University of A. G. and N. G. Stoletovs

Realization of correction of program movement is presented in article on the basis of the fourth form of invariancy and management application in mekhatronny, robotic and other technological systems.

Keywords: control system, invariancy, modification, algorithm.

Возрастающие требования по точности выполнения технологических процессов в машиностроении в свою очередь приводят к повышению требований к точности систем управления. Выделим характерные технологически процессы, выполняемые по некоторой заранее заданной или неопределенной траектории с обеспечением требуемого вектора усилия при внешних флуктуирующих возмущениях. Характерными процессами управления для таких систем являются операции сопряжения двух деталей, выполняемых роботами по сопрягающей траектории с заданным усилием, управление приводами в станках с ЧПУ и др. В конечном итоге необходимо движение по заданной траектории с одновременным выполнением технологического процесса.

Наряду с известными для этих целей методами построения систем управления, основанных на введении в прямой контур или в цепи обратных связей корректирующих звеньев или использования нелинейной коррекции, применяется комбинированное управление. В последнем случае управление основано на положениях теории инвариантности, как правило, состоящее в реализации второй формы инвариантности. По сравнению с другими методами коррекции введение инвариантных входов повышает точность не изменяя свойств замкнутого контура системы. Для обозначенного класса технологических процессов и систем управления возможно построение систем на основе четвертой формы инвариантности, имеющих по сравнению с другими ряд преимуществ [1].

Обратимся к типовой структуре линейной системы с передаточными функциями разомкнутой системы по управляющему $g(p)$ и возмущающему $f(p)$ воздействиям соответственно $W(p)$, $V(p)$ [2]. Рассматриваем процесс движения установившимся, т.е. составляющие, определяемые начальными условиями равны нулю. Ошибка системы $\delta(p)$ с учетом принципа суперпозиции, справедливого для линейных систем определяется

$$\delta(p) = \frac{1}{1+W(p)} g(p) + \frac{V(p)}{1+W(p)} f(p). \qquad (1)$$

где $W(p)=\frac{A(p)}{B(p)}$; $V(p)=\frac{C(p)}{D(p)}$.

Выражение для ошибки $\delta(p)$, если представить передаточные функции, входящие в уравнение (1) в виде соответствующих полиномов и с учетом обозначения $C(p)/D(p)=C_d(p)$ будет

$$\delta(p)=\frac{B(p)}{A(p)+B(p)}g(p)+\frac{B(p)Cd(p)}{A(p)+B(p)}f(p)$$

или в строчной форме записи

$$H(p)\delta(p)=B(p)g(p)+L(p)f(p), \qquad (2)$$

где $H(p)=A(p)+B(p)$; $L(p)=B(p)+C_d(p)$

Принцип инвариантности для ошибки $\delta(p)$ по отношению к $g(p)$ и $f(p)$ сводится к обеспечению равенства нулю правой части уравнения (2), то есть

$$B(p)g(p)+L(p)f(p)=0. \qquad (3)$$

Выполнение условия (3) возможно в нескольких вариантах. Для системы (2) они записываются в виде так называемых четырех форм инвариантности [5]. Универсальной является вторая форма, определяемая уравнениями. Однако она требует получения *n* производных, где *n* порядок системы, что при их числе более двух трудно реализуется. Большими возможностями для систем программного управления и следящих систем с медленно изменяющимися параметрами входного и возмущающего воздействий обладает четвертая форма инвариантности. Рассмотрим этот вопрос в следующей постановке. Имеется система с номинальными управлением $g_0(p)$ и возмущением на выходе $f_0(p)$. Последнее обусловлено создаваемым на выходе силовым воздействием при выполнении технологического процесса. По различным технологическим факторам имеется отклонение фактического усилия от расчетного на величину $\Delta f(p)$. Необходимо ошибку, обусловленную составляющей $\Delta f(p)$, скомпенсировать дополнительным управлением $\Delta g(p)$. Иначе, имеем функции управления и возмущения в виде

$$g(p)=g_0(p)+\Delta g(p); \quad f(p)=f_0(p)+\Delta f(p).$$

Для компенсации дополнительного возмущения условие четвертой формы инвариантности определяется согласно уравнения (3), которое здесь запишется как

$$B_2(p)\Delta g(p)+L(p)\Delta f(p)=0. \qquad (4)$$

Отметим принципиальное отличие соотношения (4) от (3). Классическая трактовка четвертой формы инвариантности предусматривает введение дополнительной составляющей в управлении для каждого канала по своему воздействию: для управляющего воздействия - в функции воздействия $g(p)$, для возмущающего воздействия - в функции возмущающего воздействия $f(p)$. Здесь же, для парирования возмущения $\Delta f(p)$ вводится дополнительная составляющая в управляющее воздействие в виде $\Delta g(p)$. Назовем такой вариант организации управления как *модификацию четвертой формы инвариантности.* Выполнение условий *модифицированной четвертой формы инвариантности* для компенсации $\Delta f(p)$ возможно в следующих вариантах:

1) формированием дополнительного полинома $B_2(p)$ при выбранном $\Delta g(p)$;

2) формированием дополнительного управления $\Delta g(p)$ при выбранном $B_2(p)$;

3) выбором произведения $B_2(p)\Delta g(p)$.

С позиции технической реализации целесообразно вводить дополнительное управление, которое при выбранной функции $B_2(p)$ определяется из условия

$$\Delta g(p)=\frac{L(p)\Delta f(p)}{B_2(p)}.$$

Наибольший интерес представляет применение четвертой формы инвариантности, когда дополнительное управление вводится с целью:

1) парирования нелинейностей и нежелательных характеристик механической передачи (все виды редукторных приводов);

2) адаптации программной траектории к фактической технологической, несовпадающей с ней по различным технологическим факторам (промышленные роботы и др.);

3) строгого движения исполнительного органа по заданной траектории (станки с ЧПУ, системы слежения за подвижными объектами (РЛС, телескопы и др.).

Применение такого управления в мехатронных, робототехнических и других технологических системах класса обусловлено особенностями выполняемых технологических процессов, среди которых выделим следующие:

1. Векторная ошибка располагается на траектории и не оказывает влияния на выполняемый технологический процесс (его качество оценивается после завершения всей технологической операции).

2. Процесс жестко не лимитирован во времени.

3. Программное движение детерминировано.

Для физической реализации формирования $\Delta g(p)$ необходимо выделить составляющую ошибки, пропорциональную $\Delta f(p)$. Для этого можно использовать информацию с силомоментных датчиков или обработкой сигнала тока исполнительного двигателя. При их отсутствии составляющую $\delta_{\Delta f}$ можно получить обработкой суммарной ошибки в контуре системы, исключив из суммарной ошибки другие, в данном случае детерминированные составляющие, которые могут быть получены например с помощью эталонной модели $M(p)$.

Реализация модифицированной четвертой формы инвариантности возможно использованием методов адаптации. Причем коррекции (адаптации в функции дополнительного возмущения) подлежит управляющее для координатного привода воздействие. Дополнительную составляющую можно сформировать на стадии непосредственно разложения траектории на управляющие для координатных приводов воздействия в устройстве формирования управляющего воздействия (УФУВ). В станках и промышленных роботах это устройство числового программного управления (УЧПУ). При этом, для коррекции траектории движения в координатной плоскости, как будет показано ниже, достаточно скорректировать одну из координат. Структурная схема САУ управления одной координатой приведена на рис. 1.

Рассмотрим особенности динамической коррекции управляющего воздействия на стадии его формирования в интерполяционном блоке устройства ЧПУ на примере двухкоординатного управления по осям *X, Z* в декартовой системе координат [3]. Выделим основные этапы преобразования информации в УЧПУ при формировании управляющего для приводов воздействия. Все преобразования выполняются на программном уровне.

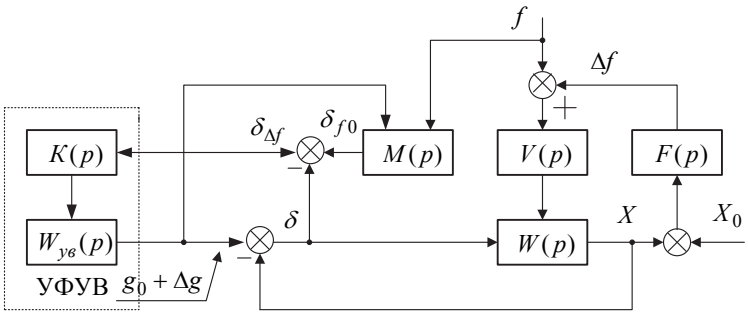


Рис. 1. Структурная схема САУ

1. Разложение интерполятором программной траектории, заданной в определенном коде, на элементарные единичные координатные приращения Δx, Δz. В цикле работы интерполятора на своей частоте f_0 может быть сформирован только один импульс Δx или Δx.

2. Определение интерполяционных импульсов тактируется частотой $f_к$, определяющей контурную скорость $V_к$ управляемого объекта.

3. Формирования координат абсолютного задания $g_x(t)$, $g_z(t)$.

4. Определение ошибок в каналах приводов.

Наибольшее распространение получил метод интерполяции на основе оценочной функции (ОФ). Рассмотри метод коррекции программы для наиболее распространенных видов траектории - прямая линия и дуга окружности. Алгоритм управления по ОФ предусматривает движение шагами по каждой координате в зависимости от знака ОФ в сторону, приближающую программную точку к идеальной траектории. В области всех значений аргументов это предусматривает вычисление ОФ, определение ее знака, и в зависимость от него формирование приращений Δx, Δz. На частоте f_0 определяется новое значение ОФ согласно выражений

$$U_{i+1,j}[nT_0] = U_{i,j}[(n-1)T_0] \pm Z_a \text{ при шаге по } Z;$$
$$U_{i,j+1}[nT_0] = U_{i,j}[(n-1)T_0] \pm X_a \text{ при шаге по } X, \quad (5)$$

где знаки перед X_a, Z_a определяются квадрантом.

В зависимости от знака оценочной функции $U_{i,j}$ делается шаг по одной из координат. Условия выполнения элементарных координатных приращений можно представить в виде

$$\Delta z_{j+1}[nT_0] = \begin{cases} 1 \forall U_{i,j+1} \vee U_{i+1,j} < 0; \\ 0 \forall U_{i,j+1} \vee U_{i+1,j} > 0; \end{cases}$$

$$\Delta x_{i+1}[nT_0] = \begin{cases} 0 \forall U_{i+1,j} \vee U_{i,j+1} < 0; \\ 1 \forall U_{i+1,j} \vee U_{i,j+1} > 0, \end{cases} \quad (6)$$

где i, j – число предыдущих приращений соответственно по координатам X, Z. На частоте $1/T_к$ формируется управляющее для привода воздействие Из выражений (5), (6) следует: 1) в формировании приращений используются только значения координат конечной точки X_a, Z_a, задаваемые в программе и являющиеся для данного участка константами; 2) для изменения траектории достаточно изменить значение одной из координат конечной точки - аргумента, причем независимо от метода интерполяции; 3) в силу принципа разложения заданного контура на управляющие воздействия и двухчастотного преобразования при изменении вектора положения автоматически изменяются проекции вектора скорости; 4) при неизменной в процессе выполнения технологической операции траектории достаточна разовая коррекция параметра X_a или Z_a.

При движении по дуге окружности новое значение ОФ на каждом шаге определяется ОФ V определяет элементарные координатные приращения в виде

$$V_{i+1,j}[nT_0] = V_{i,j}[(n-1)T_0] \pm 2x_i[(n-1)T_0] + 1;$$

$$V_{i,j+1}[nT_0] = V_{i,j}[(n-1)T_0] \pm 2z_j[(n-1)T_0] + 1, \quad (7)$$

где знаки перед вторым слагаемым определяются квадрантом и направлением движения.

В зависимости от знака ОФ приращения формируются в соответствии с логическими уравнениями

$$\Delta x_{i+1}[nT_0] = \begin{cases} 1 \forall U_{i,j+1} \vee U_{i+1,j} < 0; \\ 0 \forall U_{i,j+1} \vee U_{i+1,j} > 0; \end{cases}$$

$$\Delta z_{j+1}[nT_0] = \begin{cases} 0 \forall U_{i+1,j} \vee U_{i,j+1} < 0; \\ 1 \forall U_{i+1,j} \vee U_{i,j+1} > 0. \end{cases} \quad (9)$$

Из выражений (7) - (9) следует, что в отличие от линейной интерполяции здесь для формирования приращений используются текущие координаты X_i, Z_j НА рис. 2 дана иллюстрация метода линейной и круговой интерполяции с коррекцией управляющего воздействия. При движении по прямой программной траекторий является отрезок OA_1 Для перехода на траектории OA_2 или OA_2 достаточно выполнить разовую коррекцию координаты конечной точки по оси X. При движении по дуге окружности программной траектории является дуга AB_1. Для перехода на дуги AB_2 или AB_3 достаточно выполнить разовую коррекцию координаты текущей точки по оси X.

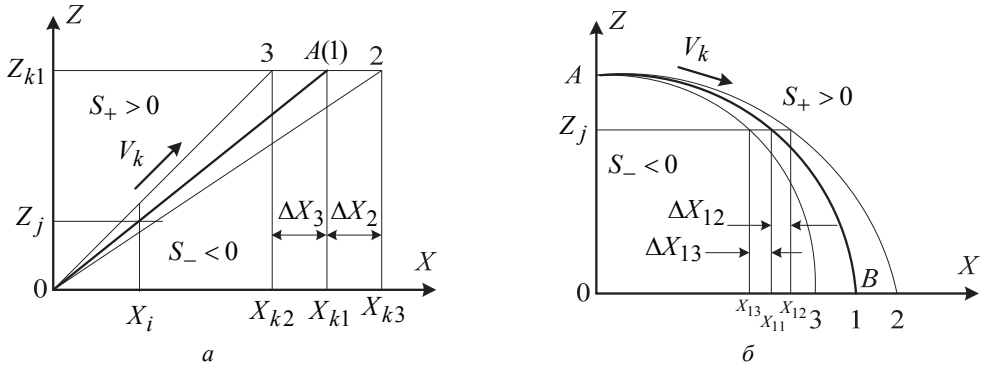


Рис. 2. Движение по программным траекториям с коррекцией

Таким образом, реализация коррекции программного движения на основе четвертой формы инвариантности сводится к коррекции значения одной из координат конечной точки при движении по прямолинейному отрезку и коррекции текущего значения одной из координат при движении по дуге окружности, гиперболе, параболе и эллипсу. Причем, эта коррекция носит разовый характер при дальнейшем сохранении новой траектории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Игнатьев, М. Б.* Об инвариантности голономных автоматических систем // Теория инвариантности и ее применения в системах автоматического управления. – М.: Наука, 1964.

2. *Кобзев, А. А.* Построение адаптивных систем приводов на основе четвертой формы инвариантности // Труды Владимирского государственного университета. – Владимир. ВлГУ, 2008. – С. 56–60.

3. *Кобзев, А. А.* Коррекция программного движения в системах управления сборочными роботами // Известия ВУЗ. Приборостроение, 1992, № 3–4. С. 15–20.

УДК 004.032.26 + 338.27

Май Нгок Тханг[1], В. А. Камаев[1], Тхай Куанг Винь[2]
М. В. Щербаков[1], Ха Ван Муон[1]

УПРАВЛЕНИЕ ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ ПРАВИЛ

[1]Волгоградский государственный технический университет
[2]Институт информационной технологии

mnthang464@mail.ru, kamaev@unix.cad.vstu.ru,
tqvinh@ioit.ac.vn, vstu@gebeus.ru, muon.ha@mail.ru

В статье представлена структура разработанной интеллектуальной гибридной энергосистемы. Цель настоящего исследования заключается в минимизации затрат на потребление электроэнергии за счет выбора оптимальной стратегии переключения между источниками энергии. Стратегия покупки электроэнергии определяется набором правил в зависимости от прогнозируемых данных о потреблении, производстве электроэнергии и текущего тарифного плана электроэнергии. Для обоснования предлагаемого подхода выполнены испытания на разработанной модели гибридной энергетической системы.

Ключевые слова: гибрид, интеллектуальная энергосистема, источники возобновляемой энергии, нейронная сеть, прогноз, оптимизация, HRES.

Mai Ngoc Thang[1], V. A. Kamaev[1], Thai Quang Vinh[2],
M. V. Scherbakov[1], Ha Van Muon[1]

CONTROL OF HYBRID RENEWABLE ENEGY SYSTEM BASED ON RULES

[1]Volgograd State Technical University, Russia
[2]Institute of Information Technology, Vietnam

The structure of intelligent hybrid renewable enegy system is considered in this paper. The aim of this study is to select the optimal strategy for switching between energy sources in order to minimize energy costs. Strategy can be determine with sort of rule based on predicted data of consumption, production of electricity and current electricity tariff. As a result of tests in a simulation energy system shows the effectiveness of the developed system in comparison with the existing energy systems.

Keywords: hybrid, smart grids, renewable energy sources, neural network, forecast, optimization, HRES.

Введение

Проблема сбережения энергоресурсов является важной задачей в области энергетики в связи с сокращением и значительным увеличением цен на традиционные источники энергии. Управление энергопотоками в энергосистемах является сложной задачей, так как для обеспечения максимального баланса между поставщиком и потребителем осуществляется в режиме реального времени. Более того, производство и потребление электроэнергии зависит от различных факторов (температуры, времени, места нахождения здания…). В статье представлена интеллектуальная система управления процессом переключения между источниками энергии в реальном времени с учетом прогнозированных данных о потреблении и производстве электроэнергии. В качестве метода управления энергосистемой используется набор правил для формирования стратегии переключения между источниками электроэнергии в зависимости от текущего тарифного плана.

1. Структура интеллектуальной гибридной энергосистемы

Интеллектуальной гибридной энергосистемой является энергосистема, объединяющая множество традиционных источников и источников возобновляемой энергии в единую систему с применением устройств, реализующих интеллектуальные алгоритмы для управления компонентами системы [4].

В данном проекте интеллектуальная гибридная энергосистема включает в себя следующие компоненты: солнечные панели (1), аккумуляторные батареи (АКБ) (2), контроллер заряда-разряда (3), метеостанция (4), цифровой счетчик электроэнергии для измерения потребления (5), цифровой счетчик электроэнергии для измерения количества электроэнергии из сети (6), инвертор (7), релейный модуль (8), сервер (9) (см. рис. 1).

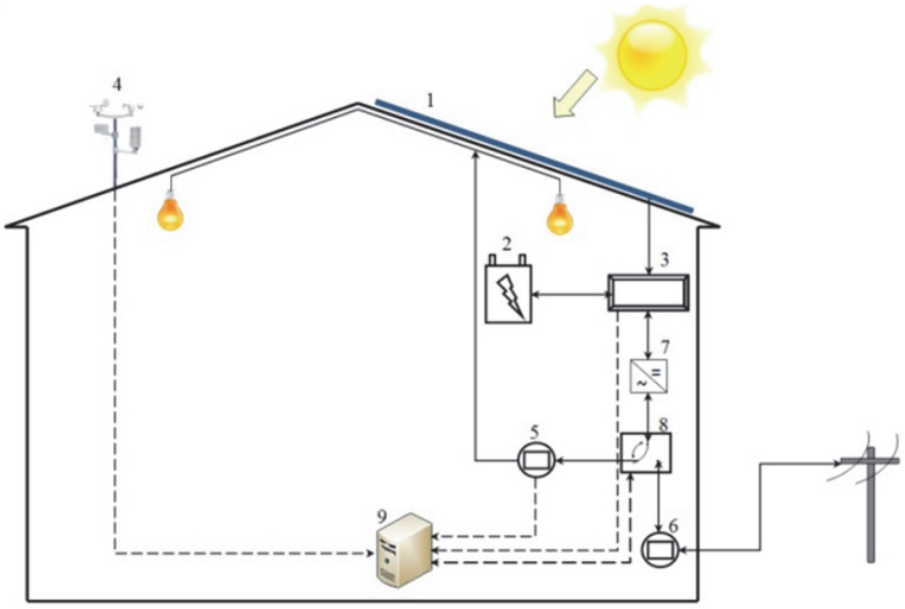


Рис. 1. Схема интеллектуальной энергосистемы

2. Характеристики основных компонентов системы

Солнечная панель (СП). Мощность СП зависит от многих внешних факторов, в числе которых главными являются коэффициент солнечной иррадиации и температура поверхности панели. Мощность СП определяется по формуле [2]:

$$P_{солн} = \begin{cases} P_{CT}\dfrac{G_{CИ}}{G_{CT}}(1+k(T_{CП}-T_{CИ})) & \text{если} \quad G_{CИ} \geq C \\ 0 & \text{если} \quad G_{CИ} < C \end{cases} \quad (1)$$

где $P_{солн}$– мощность, вырабатываемая СП (Вт); P_{CT}– номинальная мощность СП в стандартных условиях (Standard Test Condition – STC), т. е. мощность солнечной радиации 1000 Вт/м^2, температура элементов – 25^{o}C и солнечный спектр на широте 45^o) (Вт) [6]; $G_{CИ}$ – коэффициент солнечного излучения (Вт/м^2); G_{CT} – коэффициент солнечного излучения в стандартных условиях (Вт/м^2); k – температурный коэффициент (%/^{0}C); $T_{CП}$ – температура поверхности солнечной панели (^{0}C); T_{CT} – равна 25^{o}C (температура – в стандартных условиях); C–коэффициент производства энергии, который зависит от характеристики солнечной панели (Вт/м^2).

Блок аккумуляторных батарей (АКБ) обеспечивают запас электрической энергии, необходимой для электроснабжения потребителей в ночное время, в облачную погоду. Также обеспечивается компенсация пиковых нагрузок, которые не могут быть покрыты фотоэлектрическими модулями. Кроме этого, АКБ играет роль стабилизатора напряжения на нагрузке, так как выходное напряжение СП в соответствии с его вольтамперной характеристикой может изменяться в широких пределах.

Контроллер заряда-разряда - электронное устройство, которое защищает АКБ от чрезмерной зарядки и глубокой разрядки, что позволяет значительно продлить срок службы аккумулятора.

Внешняя электросеть подключается в системе при недостаточной мощности, вырабатываемой возобновляемыми источниками, а блок АБ уже разряжен до минимального значения (10 %).

Релейный модуль осуществляет переключение энергетических потоков в соответствии с командами, поступающими от сервера.

Метеостанция - комплекс для ежедневного мониторинга погоды, температуры, давления и влажности воздуха. Данные о погоде могут использоваться для прогнозирования производства электроэнергии солнечными панелями.

Цифровой счетчик электроэнергии применяется для мониторинга потребления электроэнергии. Данные о потреблении электроэнергии могут быть анализировать для прогнозирования потребления электроэнергии.

Инвертор используется для преобразования постоянного тока, вырабатываемого солнечной батареей, в переменный ток синусоидальной формы или наоборот.

Сервер применяется для обработки и хранения данных из метеостанции и счетчика электроэнергии, прогнозирования потребления и производства электроэнергии в ближайшее время, а также форматирования стратегии покупки электроэнергии в зависимости от тарифного плана и прогнозированных данных о потреблении и производстве электроэнергии.

3. Методика прогнозирования потребления и производства электроэнергии

3.1. Предварительный анализ данных о потреблении и производстве электроэнергии

Цель этапа «предварительный анализ данных» заключается в получении корректных и структурированных статистических данных, очищенных от выбросов и наблюдений, не имеющих отношения к рассматриваемой задаче. Предварительный анализ данных включает в себе следующие процедуры: анализ производства и потребления электроэнергии по сезонам, месяцам, неделям и отдельным дням недели; определение пиков в графике потребления; исключение аномалий; восстановление пропусков в данных.

3.2. Построение модели прогнозирования потребления и производства электроэнергии

Существуют разные модели прогнозирования потребления и производства электроэнергии такие как: модель скользящего среднего, модель линейной регрессии, модель на основе искусственных нейронных сетей. В [6] проведен анализ этих моделей и показан, что наиболее точной из рассмотренных методов прогнозирования является модель искусственных нейронных сетей.

Согласно [3,6], на потребление электроэнергии в момент времени *t* наибольшее влияние оказывает потребление электроэнергии в этот же момент времени 1 неделю, 2 недели, 3 недели и 4 недели назад. Следовательно, входными сигналами нейронных сетей в момент *t* являются потребление и производство электроэнергии в моменты *t-24.1.7, t-24.2.7, t-24.3.7, t-24.4.7.* Структура нейронной сети для прогнозирования потребления электроэнергии показана на рис. 2 [7].

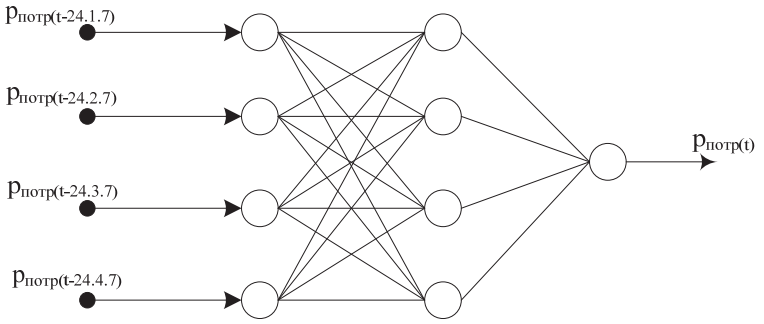


Рис. 2. Структура нейронной сети для прогнозирования потребления электроэнергии

А для прогнозирования производства электроэнергии в момент времени *t* используются данные о производстве электроэнергии в этот же момент времени четырех дней назад (*t-24, t-24.2, t-24.3, t-24.4*). Структура нейронной сети для прогнозирования производства электроэнергии показана на рис. 3.

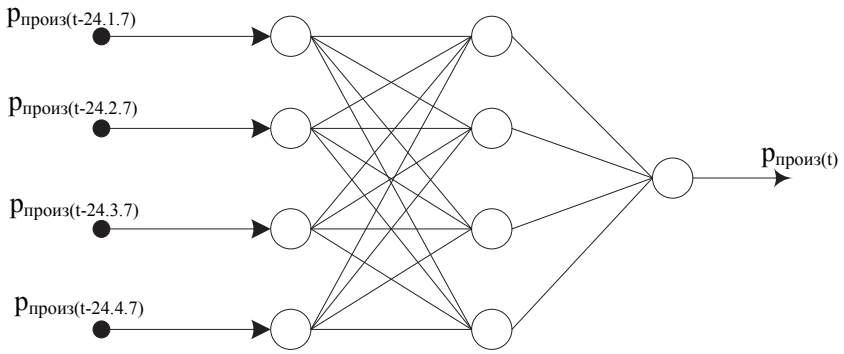


Рис. 3. Структура нейронной сети для прогнозирования производства электроэнергии

Результаты экспериментов показывали, что нейронная сеть, включающая 4 входных нейрона, 1 выходной нейрон и 4 скрытых нейрона дает наиболее точный результат прогноза. В качестве функции активации используется сигмоидная функция.

Для оценки качества прогнозирования используются следующие классические оценки определения точности модели: средняя абсолютная ошибка (MAE), среднеквадратичное отклонение (MSE) [1].

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left| y_m^t - y_p^t \right|}{n} \quad (2)$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left| y_m^t - y_p^t \right|^2}{n} \quad (3)$$

где y_m – измеренные значения энергопотребления (или производства); y_p – спрогнозированные значения энергопотребления (или производства); n – горизонт прогнозирования (n = 96).

4. Метод оптимизации управления гибридной энергетической системой

Качество управления гибридной энергетической системой определяется функцией затрат. Функция затрат (целевая функция) J определяется по формуле:

$$J = \sum_{i=0}^{95} k_i \left(p_{потр.}^i - p_{произв.}^i \right) + \sum_{i=0}^{95} (100\% - S_i).k_i.E_{макс} \quad (4)$$

где k_i – тарифный план электроэнергии в промежутке времени [i; i +1] (руб/кВт·ч); $p_{потр.}^i$ – количество потребленной электроэнергии в промежутке времени [i; i +1] (кВт·ч); $p_{произв.}^i$ – количество производственной электроэнергии в промежутке времени [i; i +1] (кВт·ч); S_i – состояние АКБ в момент времени i (%); $E_{макс}$ – максимальная электроемкость АКБ (кВт·ч)

Цель исследования заключается в формировании оптимальной стратегии переключения между источниками энергии, формулу (4) можно переписать с учетом «коэффициента стратегии покупки электроэнергии» str_i $(i=0,\ldots,95)$, зависящего от текущего тарифного плана электроэнергии:

$$J = \sum_{i=0}^{95} [\left(p_{потр.}^i - p_{произв.}^i \right) + (100\% - S_i).E_{макс}]k_i.str_i \quad (5)$$

$$str_i = \begin{cases} -1 & \text{при продаже электроэнергии} \\ 0 & \text{при использовании собственной электроэнергии} \\ 1 & \text{при покупке электроэнергии} \end{cases} \quad (6)$$

В каждый момент времени система находится в одном из трех состояний: использование собственной электроэнергии (0), продажа электроэнергии (-1) и покупка электроэнергии (1). Входные данные системы сохраняется каждый 15 минут, таким образом, имеются 96 наблюдения в день. Цель оптимизации стратегии покупки электроэнергии заключается в нахождение таких значений str_i $(i=0,\ldots,95)$ при которых достигается минимальное значение целевой функции J.

В статье стратегия покупки электроэнергии формируется на основе прогнозируемых данных о потреблении и производстве электроэнергии с учетом многотарифного плана электроэнергии. График тарифного плана электроэнергии по трем зонам суток показывается на рис. 4 [8].

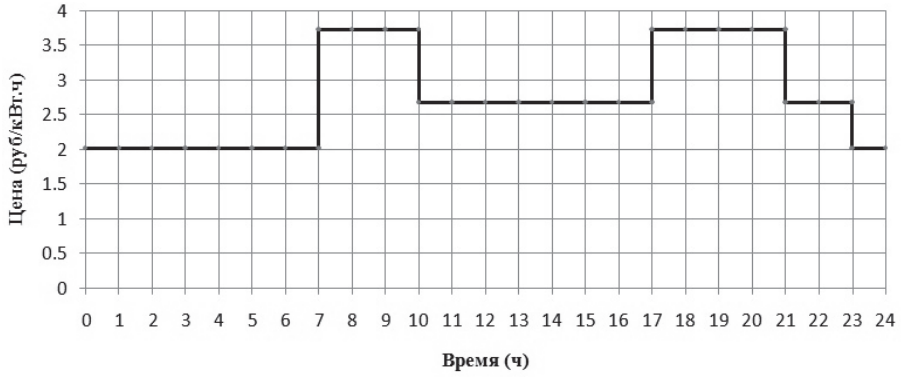


Рис. 4. Тарифный план электроэнергии по трем зонам суток

Оптимизация стратегии покупки электроэнергии основывается на идеи «покупка электроэнергии из сети для заряда АКБ во время ночи (наименьший тарифный план) для использования во время пика (наибольший тарифный план), а если потребление электроэнергии меньше производства, то выполняет продажа электроэнергии».

Обозначается количество электроэнергии, потребленное во времени первого и второго пика $П_1$ (от 7 часов до 10 часов) и $П_2$ (от 17 часов до 21 часа) с учетом производства электроэнергии от солнечных панелей, следовательно:

$$П_1 = \sum_{i=36}^{40}(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}) \quad (7)$$

$$П_2 = \sum_{i=76}^{68}(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}) \quad (8)$$

Стратегия покупки электроэнергии str_t в момент времени t в зависимости от состояния АКБ определяется набором правил таким образом:

1) если $0 \le i < 16$ и $S_i < 90\%$, то выполняется покупка для заряда АКБ и функция затрат:

$$J_1 = \sum_{i=0}^{11}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(100\% - S_i\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (9)$$

2) если $12 \le i < 36$:

если $П_1 + П_2 > S_i.E_{макс}$ и $S_i < 90\%$, то система использует электроэнергию из внешней сети для потребления и заряда АКБ, следовательно:

$$J_2 = \sum_{i=12}^{35}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(100\% - S_i\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (10)$$

иначе система использует электроэнергию из внешней сети для потребления, следовательно:

$$J_2 = \sum_{i=12}^{35}\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right)k_i, \ (str_i = 1) \quad (11)$$

3) если $36 \le i < 44$:

если $П_1 > S_i.E_{макс}$, то система сначала использует электроэнергию из АКБ до того, пока $S_i > 10\%$ ($str_i = 0$). Когда $S_i = 10\%$ система переключается на внешнюю сеть, следовательно:

$$J_3 = \sum_{i=36}^{44}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(100\% - S_i\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (12)$$

иначе система использует электроэнергию из АКБ, следовательно: $J_3 = 0$ ($str_i = 0$);

4) если $44 \le i < 68$:

если $П_2 > S_i.E_{макс}$ и $S_i < 90\%$, то система использует электроэнергию из внешней сети для потребления и заряда АКБ до того, пока значения заряд АКБ равен $П_2$ или $0{,}9.E_{макс}$, следовательно:

$$J_4 = \sum_{i=44}^{67}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(100\% - S_i\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (13)$$

если $П_2 > S_i.E_{макс}$ и $S_i \ge 90\%$, то система использует электроэнергию из внешней сети для потребления, следовательно:

$$J_4 = \sum_{i=44}^{67}\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right)k_i, \quad (str_i = 1) \quad (14)$$

если производства электроэнергии больше потребления, а $S_t \ge 90\%$, то выполняется продажа электроэнергии, следовательно:

$$J_4 = -\sum_{i=44}^{67}\left(p^i_{произв.} - p^i_{потр.}\right)k_i, \ (str_i = -1) \quad (15)$$

5) если $68 \le i < 76$:

если $П_2 > S_i.E_{макс}$, то система сначала использует электроэнергию из АКБ до того, пока $S_i > 10\%$ ($str_i = 0$). Когда $S_i = 10\%$ система переключается на внешнюю сеть, следовательно:

$$J_5 = \sum_{i=68}^{75}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(S_i - 10\%\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (16)$$

иначе система использует электроэнергию из АКБ, следовательно: $J_5 = 0$ ($str_i = 0$);

6) если $76 \le i < 92$:

если $S_i > 10\%$, то система сначала использует электроэнергию из АКБ до того, пока значения $S_t = 10\%$ ($str_i = 0$). Когда $S_i = 10\%$ система переключается на внешнюю сеть, следовательно:

$$J_6 = \sum_{i=76}^{91}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(100\% - S_i\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (17)$$

иначе система использует электроэнергию из внешней сети для потребления, следовательно:

$$J_6 = \sum_{i=76}^{91}\left(p^i_{произв.} - p^i_{потр.}\right)k_i, \quad (str_i = 1) \quad (18)$$

7) если $92 \le t < 96$: система использует электроэнергию из внешней сети для потребления и заряда АКБ, следовательно:

$$J_7 = \sum_{i=92}^{95}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(100\% - S_i\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (19)$$

Общая функция затрат:

$$J = \sum_{k=1}^{7} J_k \quad (20)$$

5. Моделирование гибридной энергетической системы

В данном проекте выполняется испытание работы имитационной модели гибридной энергетической системы офисного здания EcoScada (Бельгия). Входные данные моделирования – данные о погоде и о потреблении электроэнергии электроприборов офисного здания по часам

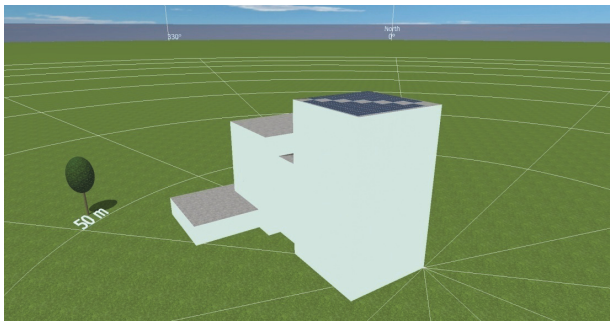


Рис. 5. Модель офисного здания EcoScada

в 2011 году. Выходные данные: профиль потребления и производства электроэнергии здания в 2011 году. Модель офисного здания EcoScada с установленной гибридной энергетической системой представлена на рис. 5.

Диаграмма зависимости погодных условий (среднемесячной температуры воздуха, коэффициента солнечной иррадиации) от времени в месте проведения испытания за каждый месяц 2011 года показана на рис. 6.

Профиль моделируемого потребления и производства электроэнергии офисного здания EcoScada в 2011 году показан на рис. 7.

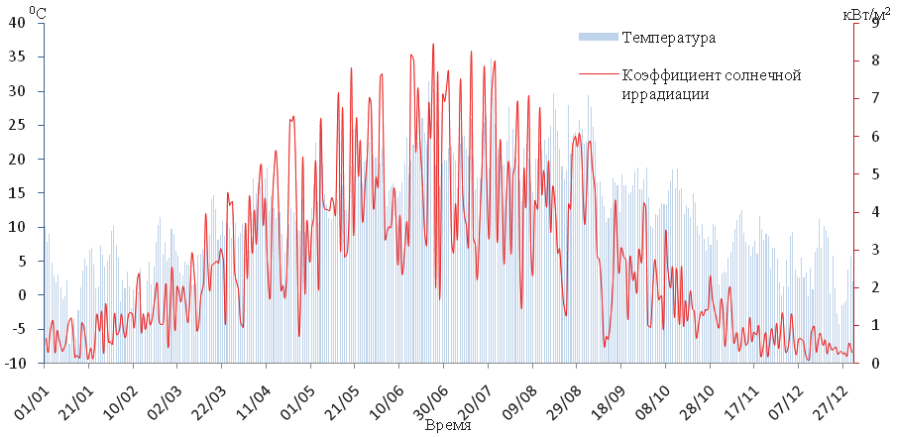


Рис. 6. Диаграмма температуры и коэффициента солнечной иррадиации в 2011 году

Рис. 7. Профиль потребления и производства электроэнергии офисного здания EcoScada в 2011 году

6. Результаты испытания

Испытание интеллектуальной гибридной энергетической системы проводилось в течение произвольно выбранного дня 28.12.2011. Значения модельных и прогнозируемых данных о потреблении электроэнергии для проведения испытания показаны на рис. 8.

График производства электроэнергии, вырабатываемой солнечными панелями, представлен на рис. 9.

В данной статье использован метод форматирования оптимальной стратегии покупки электроэнергии на основе правил. В результате применения метода, оптимальная стратегия покупки электроэнергии в точке максимального коэффициента эффективности представлена на рис. 10.

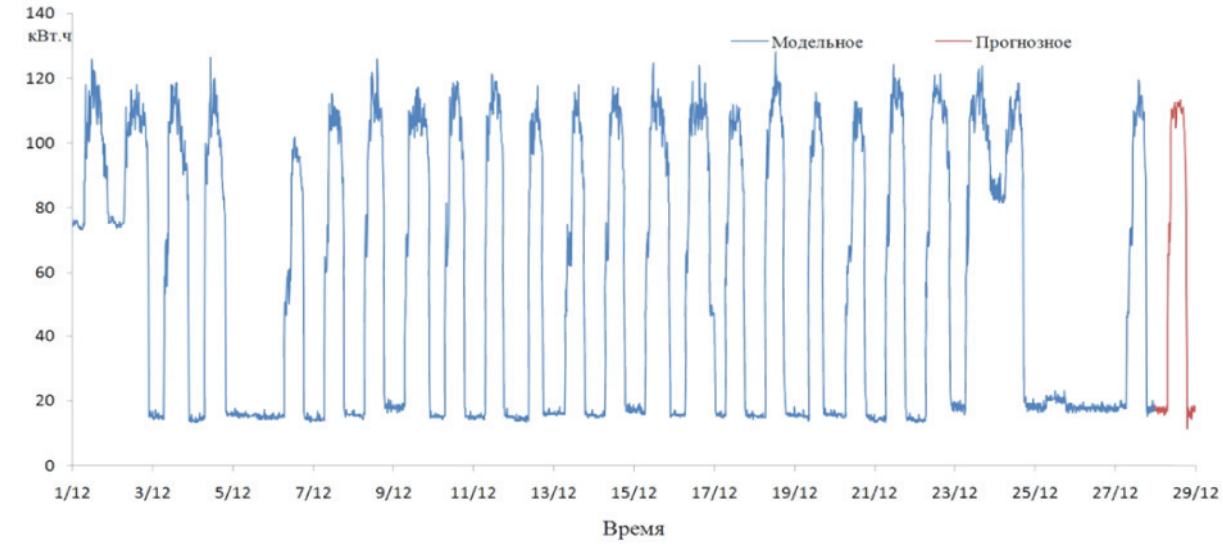


Рис. 8. Прогноз потребления электроэнергии офисного здания EcoScada 28.12.2011

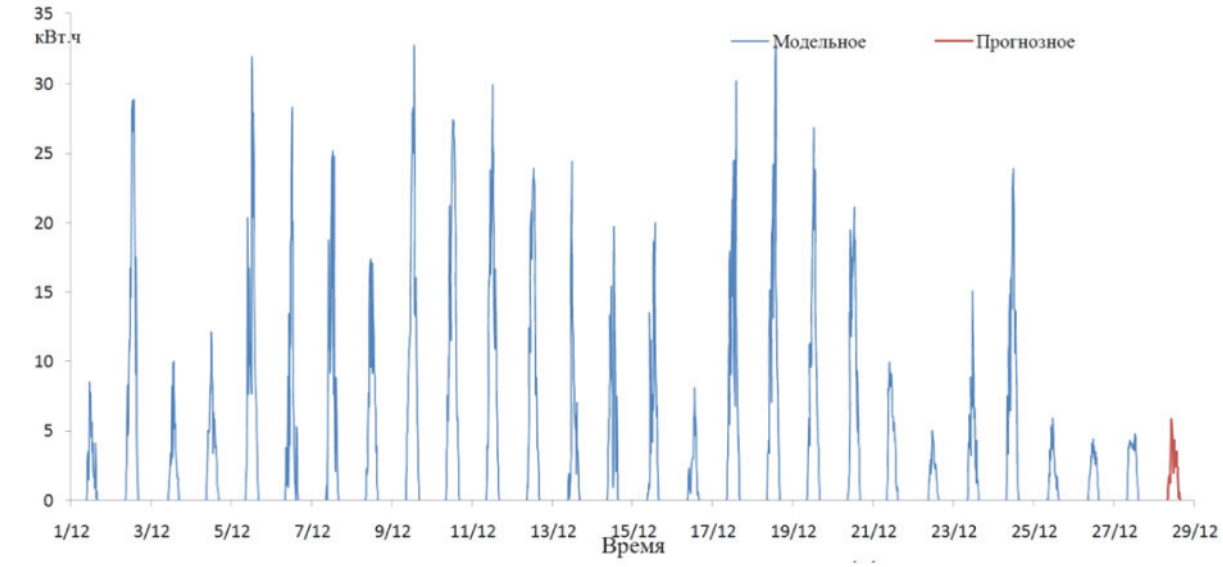


Рис. 9. Производство электроэнергии офисного здания EcoScada 28.12.2011

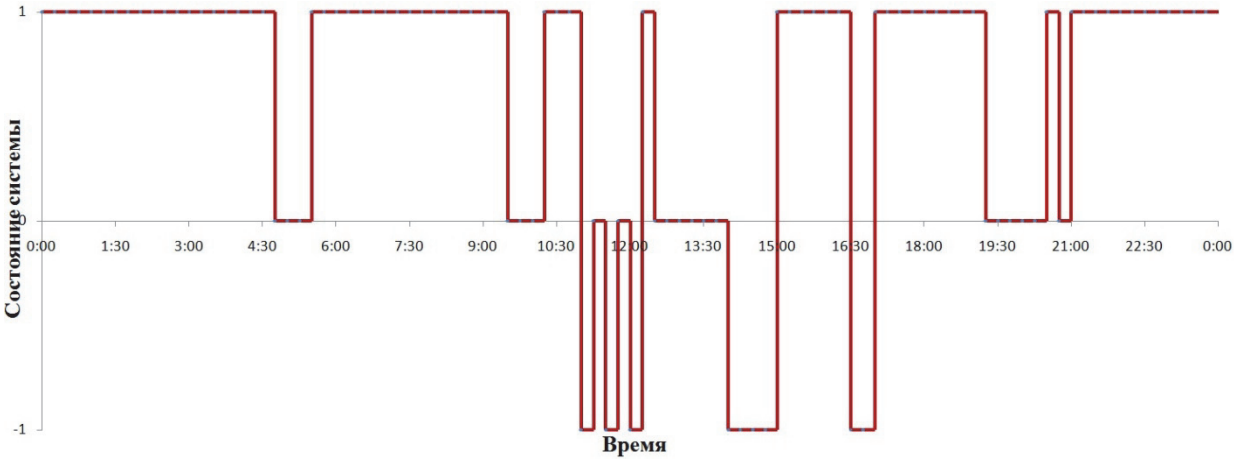


Рис. 10. Диаграмма переключения между источниками энергии офисного здания EcoScada 28.12.2011

Качество управления системой оценивается через процент сокращения затрат на электроэнергию до и после применения метода управления на основе правил и по сравнению с существующим методом (генетическим алгоритмом) [1]. Таблица содержит информацию о гибридной энергетической системе:

Параметры построенной гибридной энергетической системы

Показатели	Описание
Прогнозируемые затраты (руб.)[i]	15548
Реальные затраты (руб.)[i]	15341
Затраты без применения гибридной энергетической системы (руб.)[ii]	16257
Затраты при применении генетического алгоритма (руб.) [1]	14928
Процент сокращения затрат (%)	5.6
Время вычисления (сек.)	0,16

Примечание. (i) расчет по формуле (20); (ii) расчет по формуле (20); (iii) расчет по формуле (4).

Заключение

В статье рассмотрена модель гибридной энергосистемы с источниками возобновляемой энергии в офисном здании EcoScada. В результате моделирования гибридной энергосистемы выявлены оптимальная стратегия покупки электроэнергии 28.12.2011. Преимущество применения подхода заключается в том, что он позволяет определить оптимальную стратегию переключения между внешней электросетью и источниками возобновляемой энергии в зависимости от текущего тарифного плана текущего состояния системы, прогнозируемого состояния. По сравнению с результатом в [1] время вычисления сокращается в 775 раз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Май Н. Т.* Мультиагентный метод управления энергопотоками в гибридной энергосистеме с источниками возобновляемой энергии / Н. Т. Май, В. А. Камаев, М. В. Щербаков, Т. Х. Чинь // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – Т.22, №.2.– С. 30–41.

2. *Щербаков М. В.* ICDMS – Программное обеспечение как сервис для решения задач идентификации на основе коннективистских систем // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2009. – Т.12, №.7. – С. 88-91.

3. *Tran T. H. O.* Parallel neural network application in forecasting power demand / T. H. O. Tran, H. L. Tran, S. T. C. Dong // Development of science and technology magazine. – 2010. – Vol. 10, № 11. – P. 57-73.

4. *Caisheng W.* Modeling and control of hybrid wind/photovoltaic/fuel cell distributed generation systems: a dissertation submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy in Engineering. – 2006. – 402 p.

5. The encyclopedia of alternative energy and sustainable living [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/AE_standard_test_conditions.html

6. *Камаев, В.А.* Применение коннективистских систем для прогнозирования потребления электроэнергии в торговых центрах / В. А. Камаев, М. В. Щербаков, Д. П. Панченко, Н.Л. Щербакова, А. Бребельс // Управление большими системами : сб. тр. / Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. –2010. – Вып. 31. – С. 92–109.

7. *Яновский Т.А., Щербаков М.В.* Методика предварительного анализа данных в автоматизированных системных прогнозирования потребления электроэнергии // Вестник компьютерных и информационных технологий.– 2012.– № 3. – С. 21–26.

8. Информационное агентство "Высота 102.0" [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://v102.ru/econom/31182.html

УДК 004.912

А. А. Соколов, А. М. Дворянкин, А. Ю. Ужва

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА НОРМОКОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Волгоградский государственный технический университет
alexander.sokolov.it@gmail.com, dvam@vstu.ru, alexey@uzhva.ru

Представлен метод снижения трудоемкости нормоконтроля технической документации путем автоматизации проверки оформления электронных документов и исправления найденных ошибок в процессе нормоконтроля документации, а также ее разработки.

Ключевые слова: нормоконтроль технической документации, автоматизация, снижение трудоемкости

A. A. Sokolov, A. M. Dvoryankin , A. Y. Uzhva

THE DEVELOPMENT OF THE METHOD OF AUTOMATION OF THE PROCESS OF NORMATIVE CONTROL OF TECHNICAL DOCUMENTATION

Volgogorad State Technical University

Presented the method of reduction of the complexity of normative control of technical documentation. It is accomplished through the automation of electronic documents verification and errors correction with the software tool which uses in processes of development and normative control of documentation.

Keywords: normative control of technical documentation, automation, complexity reduction

Введение

Любое изделие, продукт или программа, разрабатываемое проектной организацией, сопровождается большим количеством технической документации. Заказчики требуют предоставления комплекта проектной документации, оформленной в соответствии с действующими нормами, требованиями и правилами, описанными в нормативных документах [1], таких как:

– стандарты предприятия (СТП);

– Единая система конструкторской документации (ЕСКД) и государственные стандарты (ГОСТ) оформления технической документации.

В таких случаях разработанная документация подвергается процессу нормоконтроля – контролю выполнения разрабатываемой документации, в соответствии с указанными выше нормами, требованиями и правилами.

На сегодняшний день проектные организации работают в условиях жесткой конкуренции, поэтому вопрос нормоконтроля приобрел особую актуальность.

Цели, задачи и порядок проведения нормоконтроля

Нормоконтроль проводится в целях обеспечения однозначности применения конструкторской документации и установленных в ней норм, требований и правил на всех стадиях жизненного цикла изделия [2].

Основными задачами нормоконтроля документации являются: обеспечение соблюдения в технической документации норм, требований и правил, установленных в нормативных документах; достижение единообразия в оформлении и изменении конструкторской документации.

Нормоконтроль является завершающим этапом разработки конструкторской документации. В зависимости от количества и содержания разрабатываемой в организации конструкторской документации нормоконтроль может проводиться одним нормоконтролером [2] или более. Нормоконтролер – это специалист, деятельность которого направлена на проведение нормоконтроля на предприятии. В общем случае нормоконтроль проводится вручную. Модель процесса нормоконтроля документации и ее разработки показана на рис. 1.

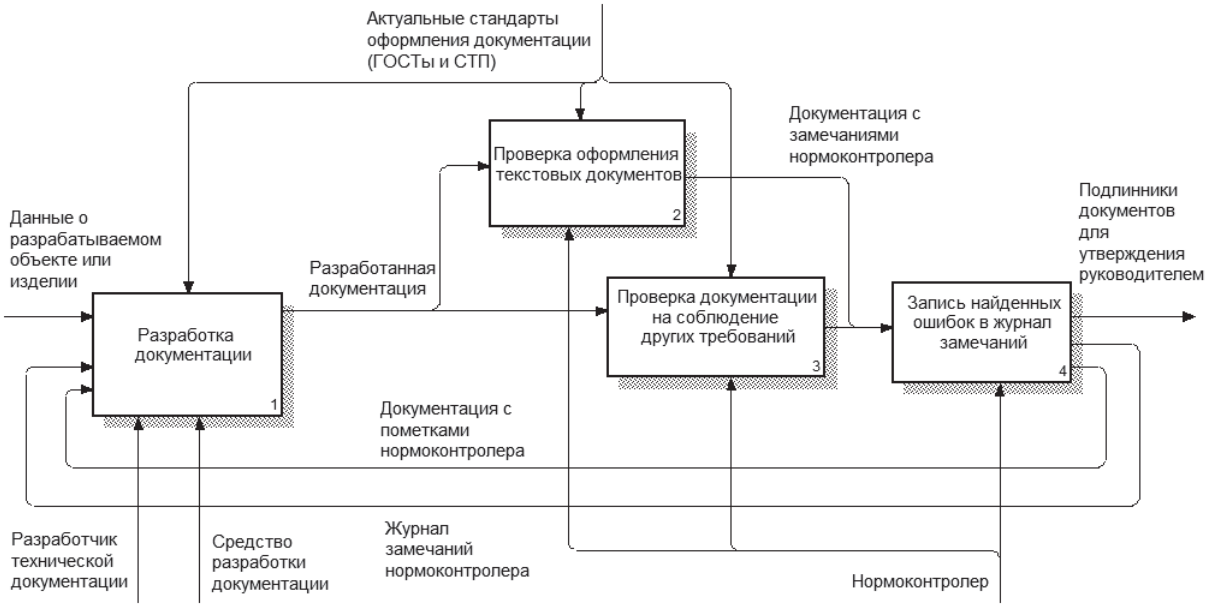


Рис. 1. IDEF0 диаграмма процесса разработки и нормоконтроля документации

Недостатки данного процесса заключаются в том, что этапы процесса нормоконтроля, отличающиеся повышенными требованиями к концентрации, вниманию и квалификации нормоконтролера, являются трудоемкими, поскольку они требуют от нормоконтролера одного сквозного просмотра всего документа или более, а также они являются затратными по времени.

Увеличение времени, затраченного на проведение нормоконтроля, увеличивает сроки сдачи всей разработанной документации, а также приводит к увеличению стоимости проведения нормоконтроля. Также на данном этапе имеет место «человеческий фактор» (допущение ошибок и неточностей при проверке). Таким образом, актуальной задачей является

снижение трудоемкости ручного нормоконтроля путем его автоматизации.

Методы снижения трудоемкости процесса нормоконтроля

Под снижением трудоемкости понимается снижение затрачиваемых времени и ресурсов. Наиболее перспективными способами снижения трудоемкости нормоконтроля является использование программных средств при разработке документации и при проведении нормоконтроля, ввиду следующих фактов:

– существуют формальные правила оформления документации, зафиксированные в стандартах и нормах, которые могут быть запрограммированы в виде параметров проверки документации или в виде шаблонов;

– все большее количество технической документации на сегодняшний день разрабатывается в электронном виде, благодаря чему в организации может быть введен электронный документооборот, четкая организация которого позволяет ускорить прохождение и исполнение документов в организации [3], сократить время как внешних, так и внутренних корреспонденций организации, а также повысить безопасность обработки документов [3].

Существуют следующие методы снижения трудоемкости процесса нормоконтроля:

1) использование шаблонов оформления документов при разработке документации;

2) использование программных средств в процессе нормоконтроля документации.

Метод снижения трудоемкости нормоконтроля путем использования шаблонов документов

Использование шаблонов при разработке документации позволяет создавать корректно оформленную документацию, избежать ряда ошибок оформления документации и тем самым упростить процесс нормоконтроля документации.

Процесс разработки документации и ее нормоконтроля при использовании данного метода схож с тем, что показан на рисунке 1, за исключением того, что теперь этап разработки документации ограничен шаблоном, который задает форматирование документа.

Одним из способов реализации описанного выше метода является использование шаблонов, создаваемых в издательской системе LaTex, которая является одним из общепринятых международных стандартов подготовки научных и технических текстов. Принципиальное удобство издательской системы LaTex заключается в следующем: документ LaTex содержит лишь структурную и семантическую разметку, таким образом, одна строчка, подключающая некоторый стилевой файл, полностью меняет оформление работы; имеется автоматическая генерация ссылок на источники; набор формул эффективнее [4], чем в текстовых процессорах. Данное средство поддерживает создание шаблонов, на основе которых создаются документы, форматированные по указанным в них стандартам.

Недостатки данного метода:

– для процесса разработки документации требуется среда разработки LaTex, что влечет за собой дополнительные затраты времени на ее освоение коллективом разработчиков, особенно, если их деятельность не связана с информационными технологиями;

– при разработке крупных проектов технической документации ее нормоконтроль перед сдачей заказчику по-прежнему требуется, так как для соблюдения формальностей требуется подпись человека, который берет на себя ответственность за корректность его оформления.

Также шаблоны присутствуют в текстовых процессорах – компьютерных программах, используемых для написания и модификации документов, компоновки макета текста и предварительного просмотра документов в том виде, в котором они будут напечатаны [5]. Преимуществами данных систем является то, что как сами системы, так и разработка в них шаблонов документов просты в освоении.

Недостатки данного метода заключаются в том, что:

– данные шаблоны не могут поддерживать большое количество проверок свойств документа на соответствие стандартам;

– при разработке крупных проектов технических документаций нормоконтроль по-прежнему необходим.

Метод автоматизации проверки оформления документации

На сегодняшний день существуют различные программные средства, направленные на снижение трудоемкости нормоконтроля технической документации путем автоматизации проверки ее оформления. Одним из таких средств является «Орфограммка» – интеллектуальный веб-сервис проверки орфографии, грамматики, пунктуации и стилистики. Также сервис проверяет курсовые и дипломные рабо-

ты на соответствие требованиям ГОСТа [6]. Преимуществом данного метода является то, что разработанное для его реализации программное обеспечение берет на себя процесс проверки оформления документа.

Недостатки данного метода заключаются в следующем:

– поддерживается малое количество проверяемых свойств документа в существующих программных средствах;

– в существующих программных средствах имеется ограниченный набор стандартов проверки документов;

– найденные программным средством ошибки необходимо исправлять вручную.

В связи с наличием указанных выше недостатков существующих методов, которые позволяли только разрабатывать корректно оформленную документацию, с повышением трудоемкости ее разработки, либо снижали трудоемкость самого процесса нормоконтроля, однако выполняя малое число проверок и не исправляя ошибки, актуальной является задача разработки нового метода.

Метод автоматизированной проверки оформления документации и исправления найденных в ней ошибок

Суть разработанного метода снижения трудоемкости нормоконтроля заключается в автоматизированной проверке оформления электронного документа и исправлении найденных в нем ошибок программным средством, которое необходимо разработать для реализации данного метода.

Программное средство должно использоваться в процессе нормоконтроля документации, снижая его трудоемкость путем проверки оформления электронных документов в соответствии с правилами, установленными в указываемых пользователем стандартах. Также оно должно использоваться разработчиком документации для упрощения разработки более корректно оформленной документации без повышения трудоемкости ее разработки в используемом текстовом процессоре. Модель разработки и нормоконтроля документации, осуществляемых с использованием разработанного метода, показана на рис. 2.

Данный процесс является схожим с процессом разработки документации и ручным нормоконтролем, показанными на рис. 1. Здесь помимо разработчика и нормоконтролера в нем участвует программное средство, которому необходим формализованный набор стандартов оформления документации, в соответствии с которыми проверяется документ.

Использование программного средства только разработчиком может осуществляться в тех случаях, когда размер организации небольшой и содержание нормоконтролера является слишком затратным. В этом случае разработчик самостоятельно проверяет оформление разрабатываемого документа в процессе работы.

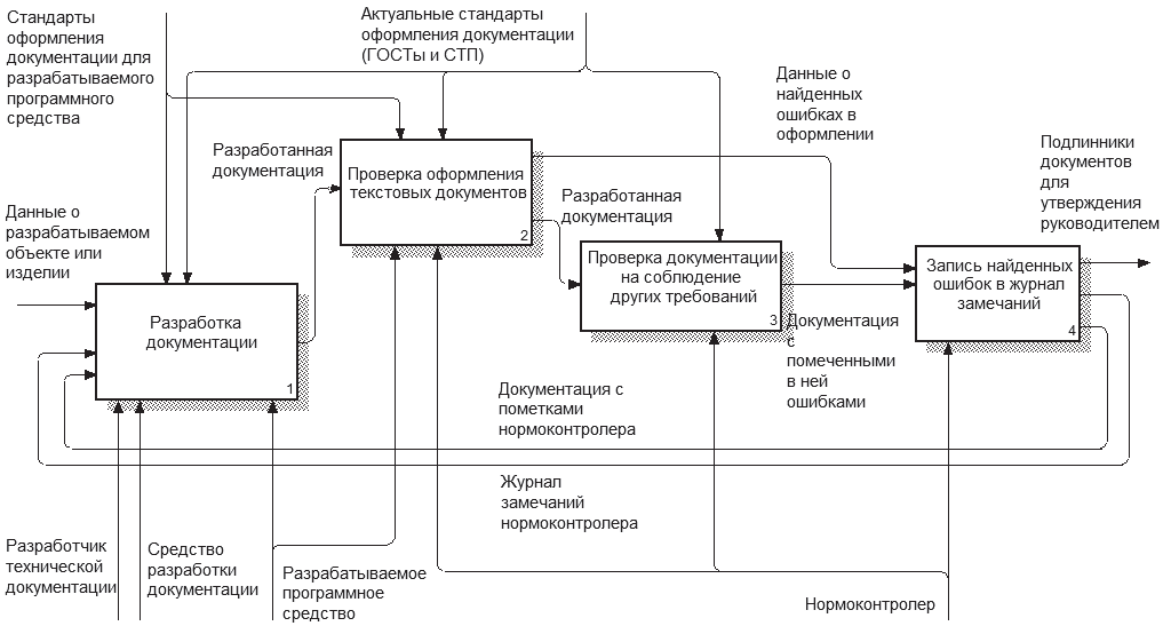


Рис. 2. IDEF0 диаграмма процесса разработки и нормоконтроля документации с применением разработанного метода

Достигнутые результаты

Был разработан прототип программного средства поддержки разработанного метода в виде надстройки для Microsoft Office Word 2007. Экранная форма данного программного средства показана на рис. 3.

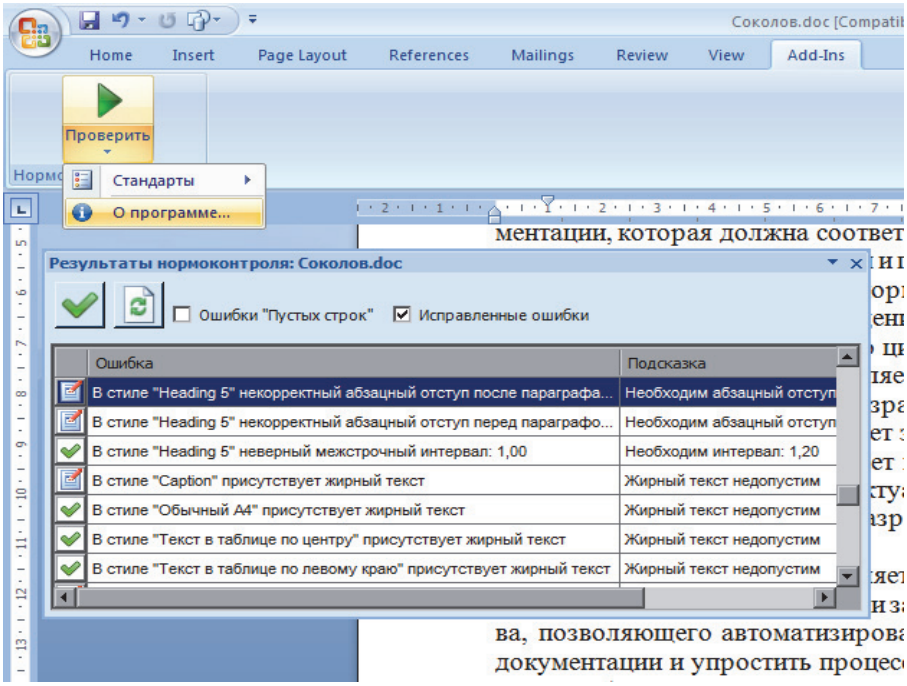


Рис. 3. Экранная форма прототипа программного средства

Разработанное программное средство было апробировано при проведении нормоконтроля на кафедре программного обеспечения автоматизированных систем (ПОАС) Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ) в 2012-2013 учебном году. Было установлено, что на данном этапе разработки с его помощью можно добиться снижения трудоемкости процесса нормоконтроля одной работы студента до 30% по сравнению с существующим процессом ручного нормоконтроля.

Данная работа получила 2-е место на конференции-конкурсе научных, конструкторских и технологических работ студентов ВолгГТУ в октябре 2012 года, по данной работе оформлен ряд научных публикаций.

Получен отзыв об актуальности и положительных результатах тестирования разработанного прототипа от ООО «ВолгаТЭКинжиниринг», разработанное средство может быть внедрено в процесс нормоконтроля.

Выводы и перспективы дальнейшей разработки

В данной статье был изучен существующий на сегодняшний день процесс нормоконтроля технической документации, был проведен обзор методов снижения трудоемкости нормоконтроля, были выделены преимущества и недостатки существующего процесса нормоконтроля и методов снижения его трудоемкости. Был разработан новый метод снижения трудоемкости нормоконтроля технической документации, который заключается в автоматизации проверки оформления документации как на этапе нормоконтроля документации, так и в процессе ее разработки, и автоматизированном исправлении найденных ошибок. Для реализации данного метода был разработан прототип программного средства. Были приведены результаты апробации метода при помощи разработанного прототипа программного средства. На данный момент разработка и совершенствование данного программного средства продолжается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Соколов, А.А.* Разработка программного продукта для автоматизации нормоконтроля технической документации / А.А. Соколов // Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области информатики и информационных технологий : сб. науч. работ. В 3 т. Т. 3 / ФГАОУ ВПО «Белгородский гос. нац. исслед. ун-т». – Белгород, 2012. – С. 321–326.

2. ГОСТ 2.111-68. Единая система конструкторской документации. Нормоконтроль. – Введ. 01.07.71. – М.: Стандартинформ, 2007. – 9 с. – (Межгосударственный стандарт).

3. *Белов, С. В.* Процедура нахождения оптимального маршрута движения документа/ С. В. Белов, Б. Р. Досмухамедов // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 15(102) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 15). – С. 73–79.

4. *Рыбанов, А. А.* Технология повышения эффективности информационной поддержки, мониторинга и контроля за процессом выполнения выпускных квалификационных работ / А. А. Рыбанов, Л. А. Макушкина, М. В. Фадеева // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13(116) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе» ; вып. 10). – С. 122–125.

5. Word processor [Электронный ресурс] / Encyclopædia Britannica. – [2012]. – Режим доступа : http://www.britannica.com/EBchecked/topic/1086871/word-processor.

6. Орфограммка. Веб-сервис проверки правописания [Электронный ресурс] / ООО «Орфограмматика». – [2013]. – Режим доступа : http://orfogrammka.ru/info.html

УДК 004.4'236

О. А. Сычев, В. А. Иванов

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕГУЛЯРНОГО ВЫРАЖЕНИЯ В ВИДЕ ГРАФА КАК ИНСТРУМЕНТА ПОМОЩИ СОСТАВИТЕЛЮ РЕГУЛЯРНОГО ВЫРАЖЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

oasychev@gmail.com, zlumyo@gmail.com

Статья посвящена проблема помощи составителям регулярных выражений, особенно в случае использования регулярных выражений преподавателями не ИТ-дисциплин в тестовых вопросах. Для типа вопроса Preg СДО Moodle был создан инструмент помощи составителю регулярных выражений, визуализирующий выражение в виде графа, наглядно демонстрирующего его работу. Отзывы пользователей показывают, что разработанный инструмент позволяет сократить время составления регулярных выражений, упростить их изучение начинающими авторами вопросов, а также находить ошибки в сложных регулярных выражениях с большим количеством развилок.

Ключевые слова: визуализация, регулярные выражения, графы.

O. A. Sychev, V. A. Ivanov

REGULAR EXPRESSION VISUALISATION AS A HELPING TOOL FOR THE REGULAR EXPRESSION AUTHOR

Volgograd State Technical University

The paper address a problem of helping regular expression authors, especially in case of using regular expressions in the quizzes by the teachers of non-IT disciplines. A helping tool ‘Explanation graph’ was developed for Preg question type for popular Moodle LMS. Users’ reviews demonstrate that developed tool allows shortening time spent on regular expression creation, lowering learning curve for novice Preg questions authors and finding errors in complex regexes with many alternative branches.

Keywords: visualization, regular expressions, graphs.

1. Проблема составления регулярных выражений

В настоящее время тестовые вопросы с проверкой по регулярным выражениям все более активно применяются при организации тестирования студентов. Примером может служить тестовый вопрос Preg для системы дистанционного обучения Moodle (СДО Moodle), разработанный на кафедре ПОАС Волгоградского государственного технического университета. Составлением вопросов с применением регулярных могут заниматься преподаватели различных дисциплин, в том числе и не связанных с информационными технологиями (ИТ)[1]. Преподаватели используют регулярные выражения для того, чтобы учесть вариативность возможных ответов студентов – при наличии в ответе нескольких групп альтернативных вариантов количество возможных ответов растет мультипликативно. Исследования показали, что при оценивании свободных ответов студентов размером в одно предложение, автоматическая оценка на основе различных методов (включая регулярные выражения) дает результаты, сравнимые по качеству с ручным оцениванием преподавателями [2].

Однако широкому распространению такого подхода мешает слабое знакомство преподавателей многих дисциплин с регулярными выражениями, изучение которых традиционно входит в подготовку лишь специалистов по информационным технологиям. А в сложных случаях составление и верификация регулярных выражений представляет проблемы и зна-

комым с ними людям. Решить эту проблему могли бы инструменты, оказывающие помощь автору регулярного выражения. Одним из эффективных способов помощи в понимании текста, записанного на сложном формальном языке (к которым относятся регулярные выражения) является наглядная визуализация записанного. При этом следует учесть, что многие авторы вопросов с регулярными выражениями слабо знакомы с их синтаксисом и при составлении опираются более на интуицию, чем на точное применение правил.

2. Существующие средства визуализации регулярных выражений

Визуализация регулярных выражений в виде графа неоднократно применялась при изучении регулярных выражений (как правило, в контексте изучения теории автоматов и формальных языков). При этом обычно визуализируется конечный автомат[3], выполняющий регулярное выражение. Примером такого инструмента визуализации регулярных выражений является программа RegExpert, созданная группой исследователей из Университета Загреба [4]. Она применяется в учебном процессе при обучении студентов теории конечных автоматов и регулярных языков. Программа генерирует графы конечных автоматов, где все символы регулярных выражений являются метками дуг переходов (рис. 1). Такая форма представления регулярного выражения является удобной при изучении теории автоматов, но не для авторов регулярных выражений: нумерованные узлы с представлением символов переходами, а также влияние петель, обеспечивающих зацикливание бесконечных квантификаторов, неочевидны для людей, не знакомых с теорией автоматов. К тому же такая форма отображения занимает много места на экране даже для сравнительно коротких выражений.

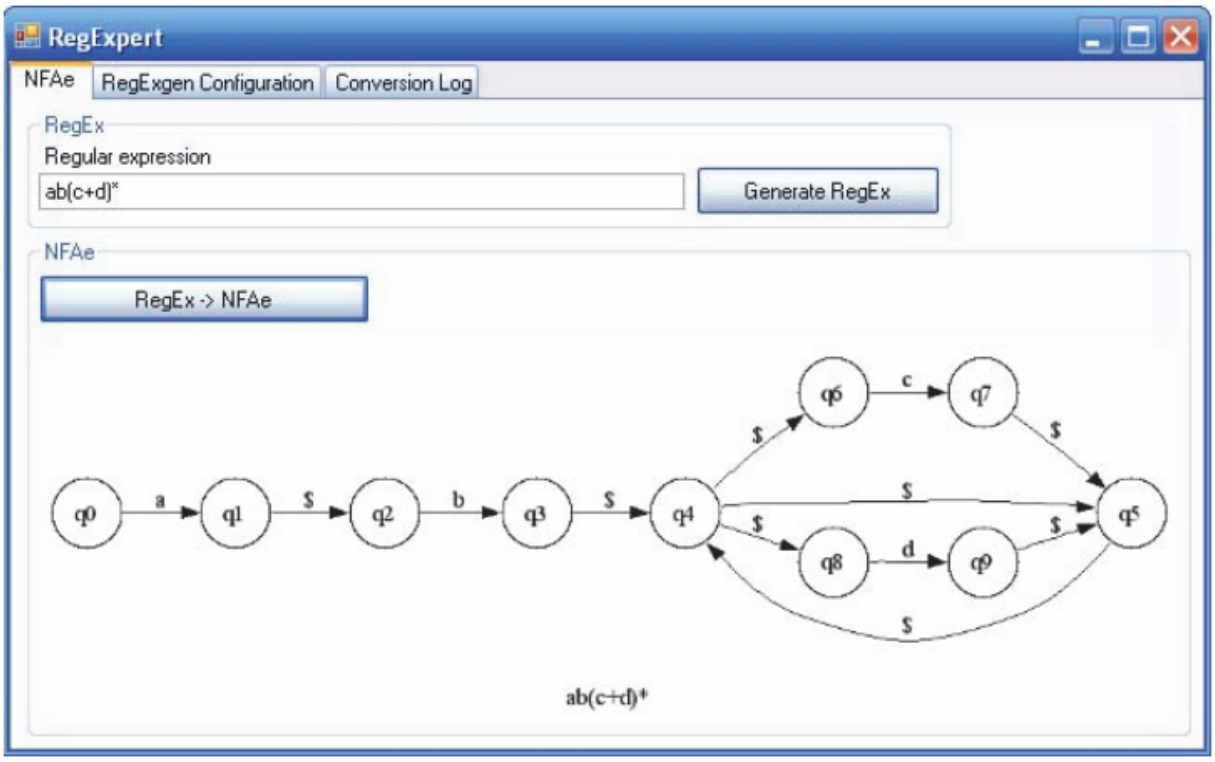


Рис. 1. Главное окно RegExpert

С точки зрения составителя регулярных выражений, не знакомого с теорией конечных автоматов, более логичным является отображение символов как узлов, а не дуг графа. Такой подход был реализован в программе Regexper, разработанной Джеффом Авалоном [5]. В ней регулярное выражение визуализируется в более доступном виде (рис. 2). К сильным сторонам Regexper следует отнести большую компактность генерируемых этой программой графов, а также объединение конкатенированных последовательностей символов в один узел.

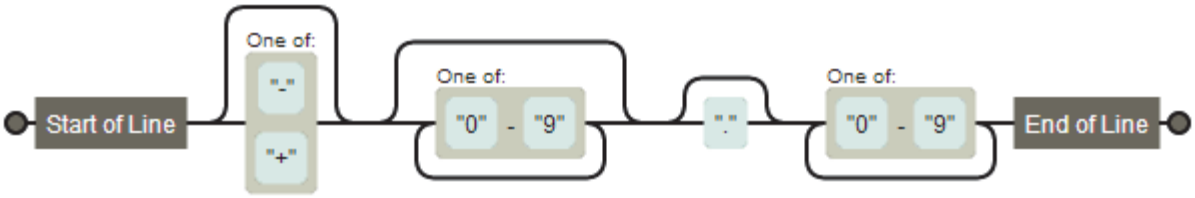


Рис. 2. Граф выражения *^[-+]?[0-9]*\.?[0-9]+$* построенный Regexper

Однако Regexper обладает рядом недостатков. Одним из самых серьезных является использование петель графа для показа квантификации, что не всегда очевидно для плохо знакомых с теорией автоматов пользователей. Ситуацию ухудшает отсутствие стрелок – направление петель показывается лишь слабозаметным способом спряжения дуг при слиянии – сравните две дуги на рис. 3, идущие в разных направлениях. Кроме того, Regexper поддерживает только Javascript-диалект регулярных выражений, в то время как тип вопроса Preg использует более мощный диалект перл-совместимых регулярных выражений[6].

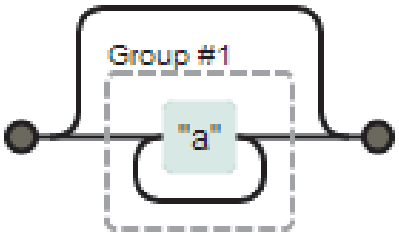


Рис. 3. Граф Regexper по регулярному выражению *(a+)?*

К проблемам Regexper следует отнести также отображение символов и их последовательностей в двойных кавычках, что затрудняет понимание в случаях, если отображаемым символом являются сами двойные кавычки, либо последовательность символов, заключенная в них. При отображении простых утверждений и эскейп-последовательностей используется цветовое кодирование узлов, отличающее смысловые надписи от последовательностей символов из регулярного выражения; однако выбор цвета непоследователен: \w (совпадающее с символом слова) и \b (простое утверждение, проверяющее границу слова и не совпадающее непосредственно с символом) показываются одинаковым цветом; в то время, как ^ и \b, являющиеся утверждениями – разными. Более того, для последовательности \w, совпадающей с одним символом, который может входить в слово, используется надпись «word», что может ввести в заблуждение неопытного пользователя, который может решить, что \w совпадает с целым словом. Эти недостатки видны на рис. 4.

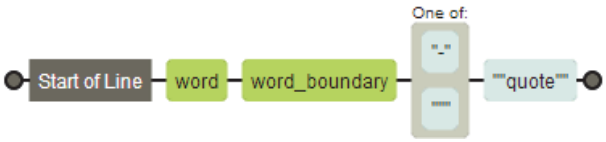


Рис. 4. Граф Regexper для выражения *^\w\b[\-"]"quote"*

Кроме того, СДО Moodle и тип вопроса Preg разработаны на языке PHP, в то время как Regexper использует в качестве серверного языка Ruby. Необходимость ставить на сервер дополнительный язык программирования для обеспечения работы модуля визуализации регулярных выражений может стать серьезным препятствием для внедрения продукта; далеко не все веб-хостинги позволяют использовать оба языка.

3. Объясняющий граф регулярного выражения

В помощь преподавателям, составляющим регулярные выражения для тестовых вопросов Preg, был разработан инструмент «Объясняющий граф», являющийся частью более обширного инструментария автора вопросов этого типа. Код инструмента написан на языке PHP, при этом для визуализации графов используется распространенный (в том числе на веб-серверах) пакет Graphviz[6]. Используется диалект перл-совместимых регулярных выражений (PCRE).

Узлами визуализируемого графа служат операнды, совпадающие с конкретными символами или набором символов (рис. 5, *а*). Дуги отображают возможные переходы между ними при конкатенации и альтернативе (рис. 5, *б*) – но не при бесконечном повторении (см. далее). Последовательность из конкатенированных символов отображается единым узлом для компактности графа.

Простые утверждения отличаются от символов тем, что проверяют условие между символами строки, в которой ищется совпадение.

Поэтому простые утверждения отображаются как метки к дугам, что подчеркивает их отличие от символов и символьных классов (рис. 5, *в*).

В розовых эллипсах отображаются словесные описания (по выбору пользователя на русском или английском языке) распространенных эскейп-последовательностей, обозначающих группы символов (\d, \D, \s, \S, \w, и \W) и юникод-свойств. Символьные классы ото-бражаются в виде прямоугольника с секциями, которые содержат отдельные его элементы – перечень символов, диапазоны,POSIX-классы, эскейп-последовательности и юникод-свойства. Над секциями расположена надпись «Любой символ из» (или «Любой символ кроме», если это отрицательный символьный класс) – см. пример на рис. 5, *г*.

Обратные ссылки изображаются в виде эллипсов с синей окантовкой, содержащих надпись «обратная ссылка на подвыражение №X» (рис. 5, *д*).

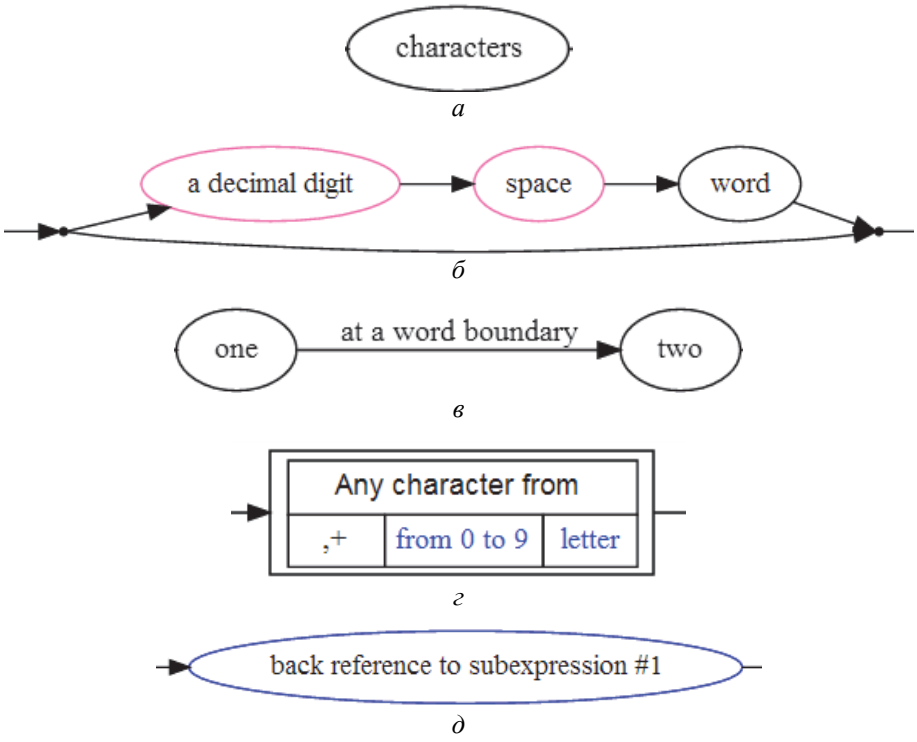


Рис. 5:
а – узел графа есть операнд регулярного выражения; *б* – дуги графа показывают переходы между операндами; *в* – метки к дугам показывают простые утверждения; *г* – отображение символьного класса *[,0-9+[:alpha:]]* в графе; *д* – отображение обратной ссылки в графе

Квантификаторы (повторение части выражения) изображаются в виде пунктирных прямоугольников, в которые заключается повторяемый фрагмент выражения, при этом сверху располагается надпись, указывающая возможное количество повторений (рис. 6). Таким образом, для показа бесконечного повторения не используется дуги графа, что делает граф ориентированным и ациклическим [7]. Это делает визуализацию повторения единообразной (для конечных и бесконечных квантификаторов) и более понятной людям, незнакомым с теорией автоматов.

Подвыражения (подмаски) представляются как прямоугольники аналогичные квантификаторам, но со сплошной границей, надпись указывает номер и/или имя подвыражения; группировки отображаются также, но без надписи сверху (см. рис. 7).

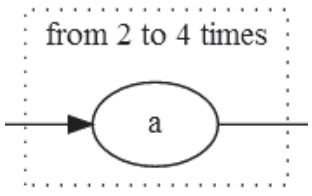


Рис. 6. Отображение квантификатора в графе

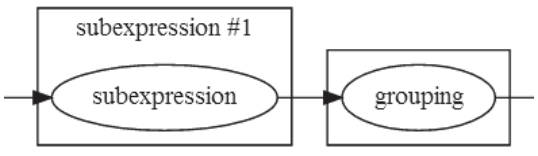


Рис. 7. Отображение подвыражения и группировки в графе

Условные подвыражения отображаются в таком же прямоугольнике, как и обычные, но внутри содержат условие, заключенное в фиолетовый прямоугольник, от которого идут дуги с метками «истинно» и «ложно». Эти дуги идут к прямоугольникам с штриховой окантовкой, которые содержат части шаблона, которые будут выполняться в зависимости от истинности условия (рис. 8).

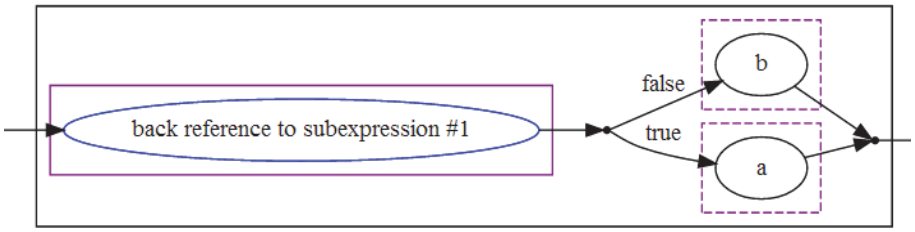


Рис. 8. Отображение условного подвыражения в графе

Инструмент визуализации графа является частью инструментария помощи составителям регулярных выражений в вопросах типа Preg. Для улучшения понимания регулярного выражения пользователю была дана возможность выделить часть текста регулярного выражения, при этом соответствующая часть графа будет выделена зеленым прямоугольником (рис. 9).

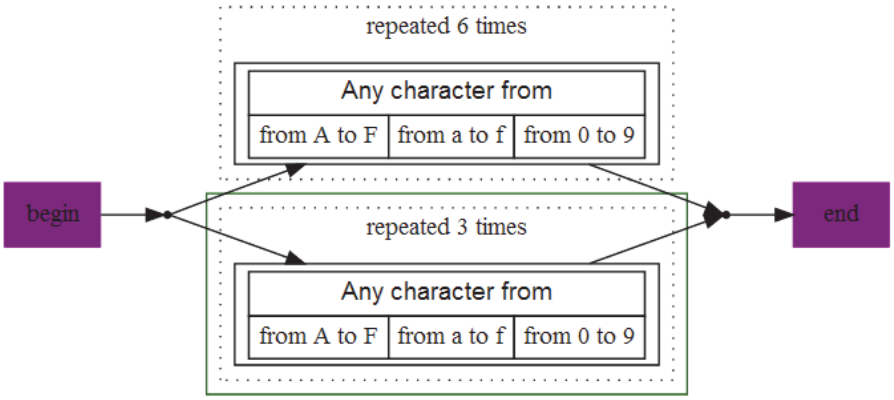


Рис. 9. Пример взаимодействия с инструментами помощи в составлении регулярных выражений

4. Обсуждение

На данный момент инструмент визуализации объясняющего графа регулярного выражения вместе с остальными инструментами помощи в составлении регулярных выражений включен в состав вопроса Preg для СДО Moodle. Он был предложен для использования нескольким преподавателям в различных областях знаний, от которых получены отзывы о его работе. В опыте участвовали преподаватели в области медицины, английского языка (как иностранного), а также информационных технологий (дисциплины "Дискретная математика", "Теория принятия решений", "Исследование операций" и "Методы обработки информации").

Все участвующие в опросе преподаватели отметили полезность объясняющего графа при разработке регулярных выражений. Наибольшая полезность объясняющего графа отмечалась (сразу несколькими преподавателями) для регулярных выражений, связанных с большим количеством ветвлений, для оценки правильности расстановки скобок и альтернатив, а также коррекции обнаруженных ошибок. Преподаватели информационных технологий до использования объясняющего графа пользовались несколькими сайтами конструирования регулярных выражений, при этом было отмечено, что примерно в 15 % случаев объясняющий граф помог найти и исправить ошибки в регулярных выражениях и обеспечить охват всех возможных вариантов правильного ответа, которые не были обнаружены при использовании других средств автоматизации конструирования регулярных выражений.

Составители регулярных выражений, использовавшие объясняющий граф, также отметили, что он позволяет наглядно показать, как компьютер будет интерпретировать регулярное выражение, сохраняя большое количество вре-

мени, которое раньше тратилось на догадки («saving a wealth of guess-work time»); а также выразили уверенность, что, как средство обеспечения наглядности, разработанная программа значительно сократит им время обучения коллег использованию регулярных выражений в тестовых вопросах.

Вместе с тем, преподаватели разошлись в оценках выбранного метода изображения квантификаторов: в то время как преподаватели информационных технологий предпочли бы видеть их изображенными в виде петель графа, преподаватели в других областях знаний (не знакомые с теорией автоматов) предпочитают выбранный авторами статьи вариант – специальный прямоугольник с надписью на естественном языке о виде повторения. В будущем возможна реализация настройки способа отображения квантификаторов.

При дальнейшем развитии инструмента планируется показ части регулярного выражения, соответствующего выделенной части графа; а также решение обратной задачи – формирование регулярного выражения по построенному пользователем графу. На основе разработанных инструментов помощи составителю регулярных выражений может быть также построен специальный тестовый вопрос для студентов, изучающих регулярные выражения; который мог бы использовать эти инструменты в качестве подсказок, чтобы помочь студентам разобраться в ошибках при работе с регулярными выражениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сычев, О. А.* Архитектура программного обеспечения тестового вопросах preg с оценкой ответа по регулярным выражениям, поддерживающего возможность подсказок продолжения совпадения/О. А. Сычев, В. О. Стрельцов, Д. В. Колесов // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 15/ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»). –С. 99–104.

2. *Butcher, P.G., Jordan, S. E.* A comparison of human and computer marking of short free-text student responses // Computers & Education, Volume 55, Issue 2, September 2010, Pages 489-499.

3. Теория автоматов / Э. А. Якубайтис, В. О. Васюкевич, А. Ю. Гобземис, Н. Е. Зазнова, А. А. Курмит, А. А. Лоренц, А. Ф. Петренко, В. П. Чапенко // Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика. – М.: ВИНИТИ, 1976. – Т. 13. – С. 109–188.

4. Budiselic I. ,Srbljic S. , Popovic M. RegExpert: A tool for visualization of regular expressions. EUROCON 2007 - the international conference on computer as a tool; 2007-pp 2387-2389.

5. Regexper / [Электронный ресурс] – [2012]. – Режим доступа: http://www.regexper.com/

6. *Ellson J., Gansner E., Lefteris Koutsofios, North C. S., Woodhull G. Graphviz*— Open Source Graph Drawing Tools // Graph Drawing, Lecture Notes in Computer Science Volume 2265, 2002, pp 483-484.

7. *Харари Ф.* Теория графов. – М.: УРСС, 2003. – 300 с.

УДК 004.942 + 025.1

Ofut O. Tumenayu, O. Shabalina

APPROACHES OF ADAPTIVE EDUCATIONAL GAMES DEVELOPMENT USING PEDAGOGICAL AGENTS

Volgograd State Technical University

Ofuriti4u@yahoo.com, o.a.shabalina@gmail.com

In this paper we describe the approaches for improving adaptivity by adding Pedagogical Agents to educational games in order strive to enhance cognitive and motivation abilities as well as support the learner based on his/her user model.

Keywords: adaptive educational game, pedagogical agent, cognitive intervention, motivational intervention, social interaction.

Офут О. Туменайу, О. Шабалина

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ АГЕНТОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АДАПТИВНЫХ ОБУЧАЮЩИХ ИГР

Волгоградский государственный технический университет

В статье описан метод разработки компьютерных обучающих систем, основанный на применении анимированных программных компонентов – Педагогических Агентов. Рассмотрены свойства Педагогических Агентов, позволяющие повысить когнитивные и мотивационные возможности адаптивных обучающих игр.

Ключевые слова: адаптивная обучающая игра, педагогический агент, когнитивная интервенция, мотивационная интервенция, социальная интерактивность.

Introduction

There is no dough learning in real life is always connected to some forms of social interaction or communicative purpose with other human being. Educational researchers have noted that it is an essentially social activity, and also we are more like to succeed in our effort to educate if we recognize this principle. But can we capture the social quality of learning when student sit in front of a computer to learn on their own?

In our on-going work of developing adaptive educational games we have sought to address precisely that question. By include a pedagogical conversational agent in the game; we set out to create opportunities for social interaction between students and the agent within learning environment which in turn would enhance adaptivity in Game Based leaning (GBL). The Pedagogical Agent (PA) keeps the student engaged in the learning environment without too much attention to itself as an artifact.

1. Concept of Adaptive Educational Game

Educational games could create a flow needed to keep high motivation and attention for a learner. This is typically achieved by finding the correct mix of game and didactic elements. The challenge of integrating personalized learning experiences into educational games provides significant to GBL. In many instances little was done to blur the boundaries between gaming and learning, something which is considered a desirable feature [1]. Whilst research into the effective integration of gaming and learning is still ongoing [2, 3] the compulsion to provide a personalized educational experience is driven by established research in Intelligent Tutoring Systems (ITS) and Adaptive Hypermedia (AH) [4]. The provision of personalization is long established to be beneficial to learning outcomes and experience [4,5]. Whereas ITS and AH systems typically have complete control of the learning experience, Adaptive Educational Games (AEGs) are faced with the additional hurdle of maintaining game narratives which potentially may be static and linear. As a result any adaptation performed in an AEG must be appropriately constrained.

Brusilovsky describes adaptivity as an alternative to the traditional one-size-fits-all approach [4]. This approach is applied in many domains.

In traditional education systems the one-size-fits-all approach is adopted. All students in a class have one teacher, and all have the same learning trajectory, regardless of their learning capabilities and personal skill-set and preferences. It

is generally accepted, that personalized learning approaches would be much more effective.

In order to sustain the high level of adaptivity in educational games a PA with multimedia resources in a human-like way can be added in order to stimulate learning. A learner can easily adapt to learning content by interacting with one or more Pedagogical Agents, who may provide information or encouragement or even collaborating with the learner to achieve a specific learning task.

2. Using of Pedagogical Agents method in Adaptive Educational Games

P As are human-like characters that are included in educational and instructional materials in order to somehow stimulate learning [10]. They can have abilities like moving, talking, feeling and reacting to user within their environment. “a learner can learn content through interacting with one or more PAs, who may provide information or encouragement, share menial tasks, or collaborate with the learner” [11]. In a study conducted by Kim and Baylor [11] it was found that students who worked with high-competency animated PAs – in both proactive and responsive conditions – achieved higher scores in applying what they had learned and showed more positive attitudes toward the animated PAs. Agents can also have different roles to support education, for example observing the students' actions and assessing them, in addition to providing feedback, explanations and demonstrations to the learner [9].

In this case the agents can create a scenario whereby the learner can engage in more meaningful interaction for easily adaptation.

3. Cognitive and Motivational Interventions provided by Pedagogical Agent

When developing an adaptive system, it is also necessary to determine how the system will adapt to the user.

In the context of educational games using Pedagogical Agent all forms of adaptive intervention provided by Pedagogical Agent is summarize as either cognitive or motivational.

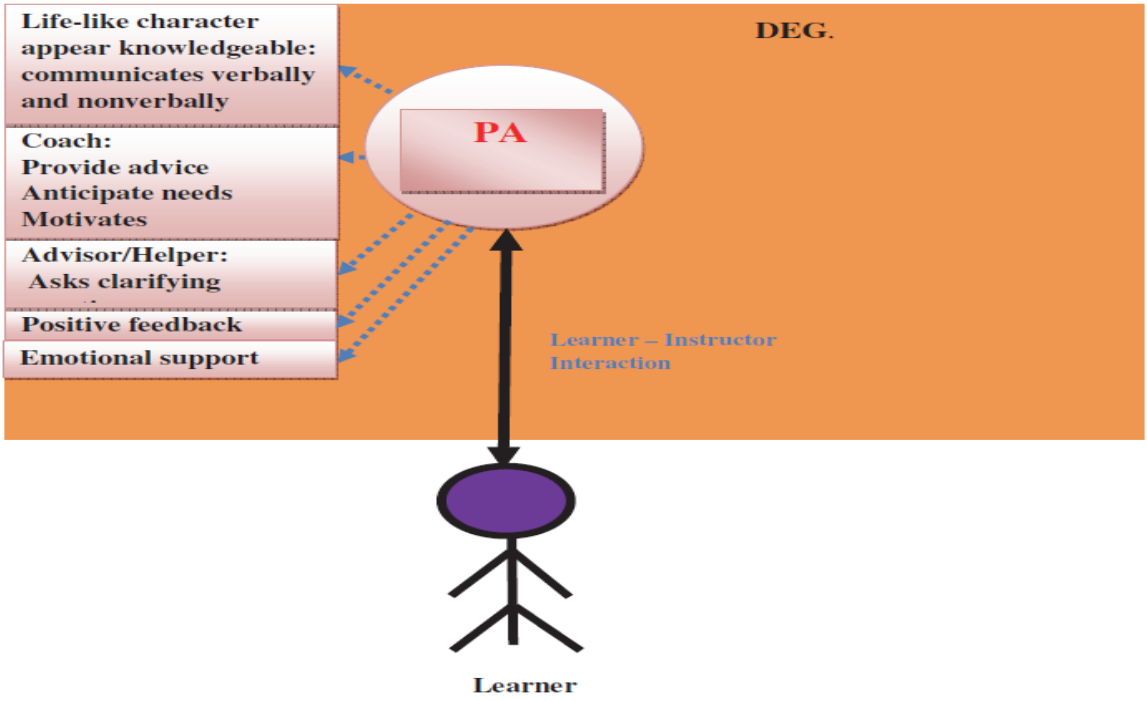


Figure 1: Pedagogical Agent techniques: DEG hosting PA

3.1. Cognitive interventions

Pedagogical Agents could possess some cognitive intervention functionalities to strive to enhance cognitive abilities and support the learner based on his/her user model. A number of subtypes of this type of intervention are distinguished below:

– *competence activation interventions,* when a learner is stuck in a certain task because results led to the assumption that the learner possesses the necessary Skills, the temporary inactive skills could be reactivated. E.g. the agent can hint the learner "we have come across this issue already before";

– *competence acquisition interventions,* when the agent concludes that the learner lacks certain skills, the agent could provide the necessary information;

– *problem solving support,* this intervention consists of providing support in an ongoing problem solving process via hints and indications that bring the learner closer to the solution;

– *progress feedback.* In this intervention the agent provides the learner with information about learning progress of the game (through NPC or scoring mechanisms). This fosters monitoring and reflection on the learner's own performance.

3.2. Motivational Interventions

Pedagogical Agents could also pose some motivational interventions striving to enhance and retain the learner's motivation and engagement on a high level. A number of subtypes of this type of intervention are distinguished below:

– *praising interventions* consists of congratulating the learner after a successful completing a game level, the learner is awarded a certain scores;

– *encouraging interventions* could be applied in case of failure. To promote further attempts to find the solution, the learner is encouraged to try again by the agent;

– *incitation intervention* is to foster motivation by announcing pleasing outcomes as rewards;

– *affective interventions* foster emotional-affective aspects of the game and social interaction with other game characters;

– *attention-catchers,* if the agent detects a decreasing attention through interpretation of the learner's actions, it could introduce unexpected changes or incidents to increase variability and keep the game interesting.

3.3. Diversification of the functionality of Pedagogical Agents

For a better actualization of this intervention it could be useful to diversify the functionality of Pedagogical Agents by introducing a Sub-agent (Tutee Agent, TeA) playing a role a learner's companion as suggested in [8].While the main agent (Tutor Agent, TrA) is engaged in tracking the learner's activities and inferring learner state. The TeA initiates interactions with the learner at the appropriate times and in appropriate manners (Figure 2).

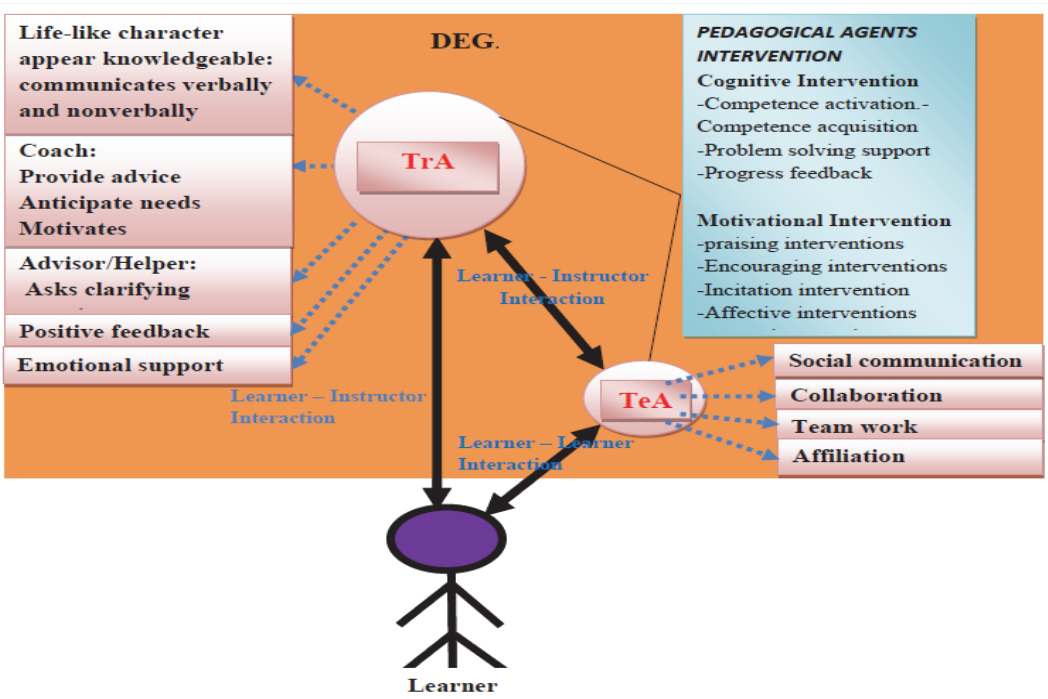


Figure 2: Improved Pedagogical Agent techniques: DEG hosting TrA and TeA

4. Examples of Games using Pedagogical Agents method

4.1. The "Teachable Agents" game

Pedagogical Agents called Teachable Agents (TAs) are implemented in adaptive educational game "Teachable Agents" [6] where the students learn by teaching the computer. The reason for using this method is allow students to capitalize on learning by teaching interaction.

Many graduate students observe they never really understood a topic until they had to teach it. To cultivate the benefits of learning by teaching, students teach their TA and then assess its knowledge by asking it questions or by getting it to solve problems. The TA uses artificial intelligence techniques to generate answers based on what it was taught. Depending on the TA's answer, students can revise their agents' knowledge.

An example of using the method is show in a screenshot from the game (Figure 3). Students teach the TA called Betty by making a concept of map. Once Betty has been taught, she can answer questions by tracing links through the concept map.

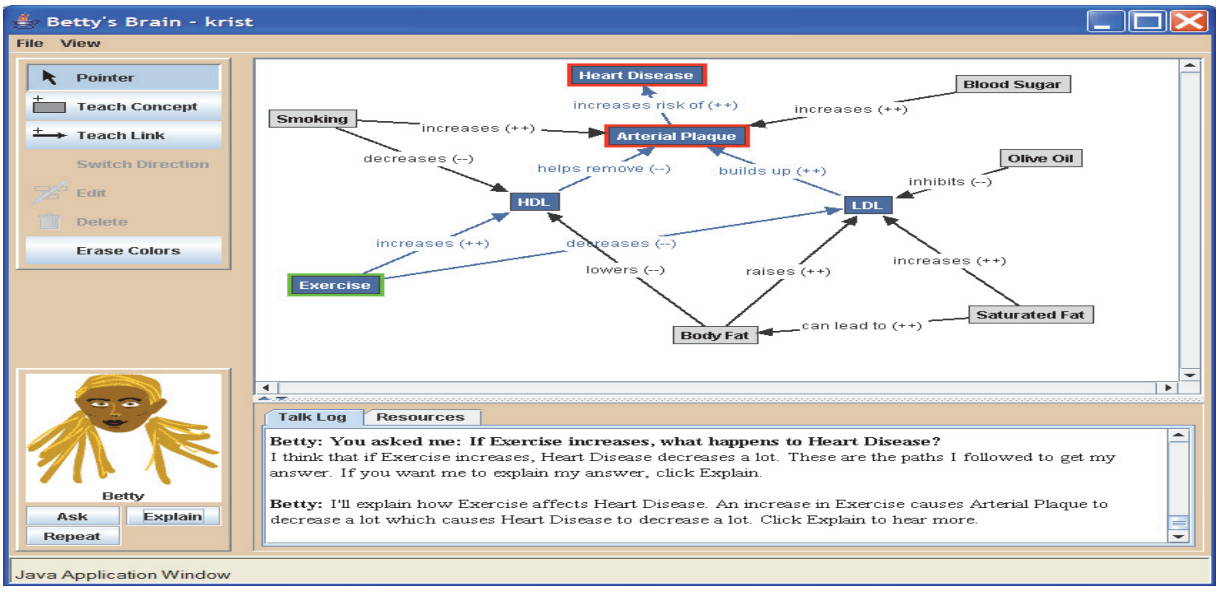


Figure 3: The Teachable Agent Betty

It helps students to organize otherwise complex human-computer interactions and learning task.

4.2. Prime Climb Game

Prime Climb [7] is an educational game designed and mainly implemented by students from the EGEMS (Electronic Games for Education in Math and Science) group at the University of British Columbia. The main goal of the game is to help grade 6 and grade 7 students learn number factorization in a highly motivating game environment (Figure 4). This game focuses on devising a student model and an animated PA for the Prime Climb game in order to facilitate learning for those students who tend to have problems profiting from this kind of environment.

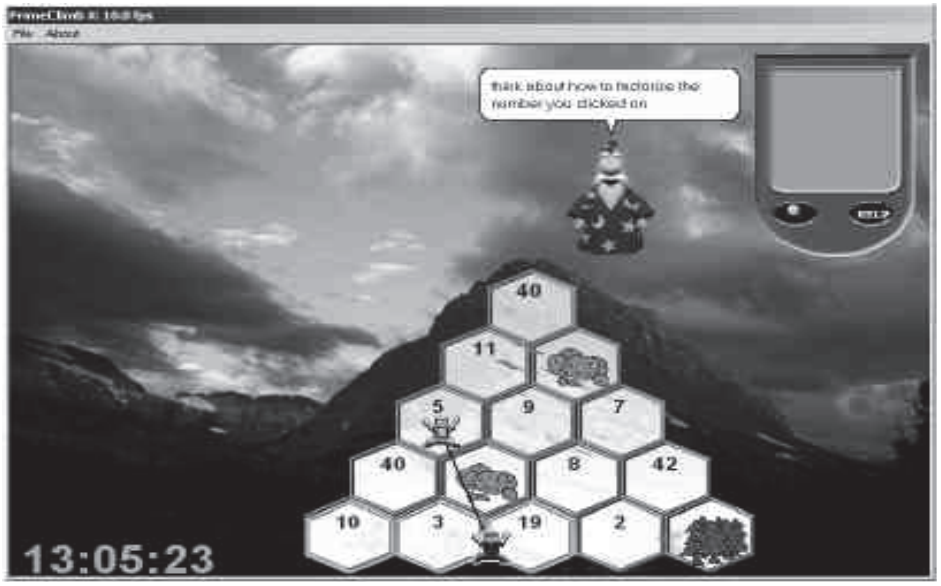


Figure 4: Screenshot from Prime Climb Game

5. Conclusion

In this paper, we highlighted the importance of boosting adaptive content in DEGs by adopting Pedagogical Agent to heighten cognitive and emotional intervention for game-based learning to become more effective in classroom teaching and learning. Our research shows the benefits from leveraging game flow to keep a learner's motivation high when playing educational games. The adaptive intervention of the PA makes the game more memorable and also enhances retention.

In our on-going project we are currently developing an educational game with PA that will be used for teaching of computer programming.

REFERENCES

1. *M. Pivec*, "Editorial: Play and learn: potentials of game-based learning," British Journal of Educational Technology, vol. 38, P. 387-393, 2007.

2. *M. Prensky*, Digital Game-Based Learning: Paragon House, St. Paul, Minnesota, USA, 2001.

3. *R. Van Eck*, "Digital Game-Based Learning: It's Not Just the Digital Natives Who Are Restless," EDUCAUSE Review, vol. 41, pp. 16–30, 2006.

4. Peter Brusilovsky. Adaptive hypermedia. User modeling and user-adapted interaction, 11(1-2):87–110, 2001.

5. *Шабалина, О.А*. 3i-подход к разработке компьютерных игр для обучения техническим дисциплинам / О.А. Шабалина, П.Н. Воробкалов, А.В. Катаев // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2011. – № 4. – С. 45–51.

6. Ben Corne. Internship report: Making existing educational games adaptive. Technical report, 2013.

7. *Blair, K. P.,* and Schwartz, D. L. (2005) Guided Discovery Games with Teachable Agents. Games, Learning and Society Conference, Madison, WI.

8. *Conati C* and Manske M. (2009). Evaluating Adaptive Feedback in an Educational Computer Game, Proc. of IVA 2009, 9th International Conference on Intelligent Virtual Agents, Lecture Notes in Artificial Intelligence 5773. Springer Verlag, P. 146-158.

9. *Ofut O.T*., and Shabalina O.A, Digital educational Games: Adopting Pedagogical Agent to Infer learner's Motivation and Emotional state, proceedings of the 7th European Conference on Game-Based Learning, Porto, Portugal, 3-4 October 2013/ institute Superior de Enginharia do Porto. - [Porto], 2013. Vol. II. – P. 546-552.

10. *Abbas, S.* & Sawamura, H. (2009). Developing an argument learning environment using agent-based its (ales). In Educational Data Mining Conference EDM'09.

11. Eliseo Reategui, Eunice Polonia, and Letícia Roland (2007). The role of animated pedagogical agents in scenario-based language e-learning: a case-study, Author manuscript, published in "Conference ICL2007, September P. 26 -28, 2007, Villach : Austria (2007)".

12. *Kim, Y.*; Baylor, A.L. Pedagogical Agents as Learning Companions: The role of agent competency and type of interaction. ETR&D, v. 54, n. 3, P. 223-243, 2006.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

УДК 004.021

Е. М. Артемьев, О. О. Привалов

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СТЕРЕОПАРЫ ПО 2D ИЗОБРАЖЕНИЮ

Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
galva@mail.ru

В работе приводится сравнительный анализ одномерных методов восстановления участков 3D сцены, полученной в результате искусственной реконструкции параллакса объектов 2D изображения по известной карте глубины. Цель исследования - определить эффективность каждого из алгоритмов, применительно к восстановлению участков изображений, имеющих различные текстурные особенности. Также ставится задача разработки метода восстановления, основанного на комплексном применении группы алгоритмов согласно некому критерию, определяющему качество получаемого результата.

Ключевые слова: стереопара, обработка изображений, параллакс, восстановление информации.

E. M. Artemev, O. O. Privalov

THE RESEARCH OF ONE-DIMENSIONAL TECHNIQUES FOR DATA RECOVERY IN THE CONSTRUCTION OF A STEREO PAIR FOR 2D IMAGE

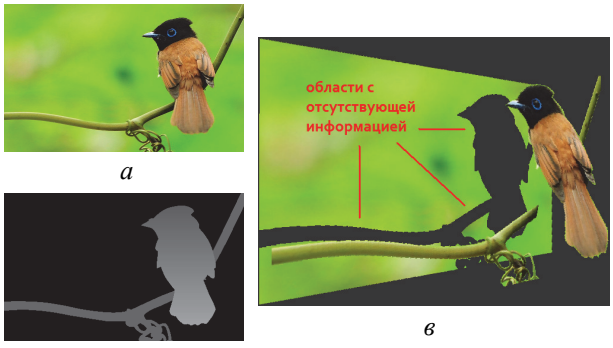
Kamyshin Technological Institute (branch of)
Volgograd State Technical University

This paper provides a comparative analysis of one-dimensional methods of restoring 3D scene parts, produced by artificial reconstruction of objects parallax in 2D images with known depth map. The purpose of the research is to determine the effectiveness of each of the algorithms with respect to the restoration of image parts with different textural characteristics. It also aims at developing a method of recovery based on the integrated use of algorithms according to some criterion that determines the quality of the result obtained.

Keywords: stereo pair, image processing, parallax, information recovery.

Пусть имеется 2D изображение сцены (рис. 1, а), и соответствующая ей карта глубины (рис. 1, *б*), тогда согласно постановке задачи восстановления параллакса, результатом преобразований будет 3D сцена, в который каждый объект или, в минимальном приближении, пиксель получит Z координату, определяемую яркостью соответствующего ему пикселя карты глубины [1].

Как видно из рис. 1, *в*, в результате преобразования, мы получаем области с отсутствующей информацией (разрывы), которые согласно требованиям практической области конвертации необходимо восстановить.



а

б

в

Рис. 1. Пример 3D сцены воссозданной по карте глубины

В работе рассматриваются автоматические методы восстановления отсутствующих областей на растровых изображениях. Основное требование, предъявляемое к методам, сводится к визуальной оценке экспертом, определяющим степень похожести восстановленной области на прилегающие к ней участки изображения, а также совокупное впечатление от комплексного визуального анализа результата 3D реконст-

рукции. Согласно специфике человеческого восприятия визуальной информации, наиболее заметными являются искажения, деформирующие прямые линии и симметричные фигуры [2].

В основе одномерных методов восстановления, лежит подход, предполагающий разбиение матрицы растра M[x,y] на x независимых столбцов или y независимых строк и последующем восстановлении.

Был проведено исследование следующих алгоритмов:

1. Линейная интерполяция [3]

С учетом условных обозначений (рис. 2) пиксели внутри разрыва заполняются по формуле:

$$I(x,y) = \frac{I(x_0,y)\cdot(len-offset) + I(x_0+len,y)\cdot offset}{len}$$

где *x, y* – координаты текущего восстанавливаемого пикселя; *I(x, y)* – пиксель изображения с координатами *x, y*. Представляет цвет пикселя в виде вектора цветовых компонент (R, G, B); *x0* – координата последнего пикселя перед начала разрыва; *len* – длина разрыва в пикселях; $offset = x - x_0$ – расстояние между текущим пикселем и началом разрыва.

В основе метода лежит подход к синтезу "бесшовных" текстур. Направленное заполнение зеркально отраженной текстурой осуществляется относительно границы имеющий меньший параллакс.

$$I(x,y) = I(x_0 + len - len\cdot dir - offset, y)$$

dir – направление копирования текстуры (+1 – слева направо, –1 – справа налево)

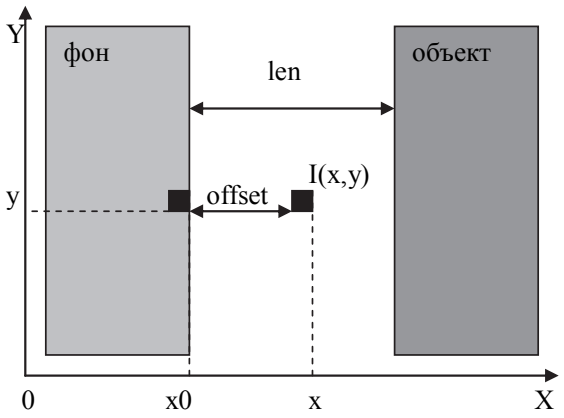


Рис. 2. Схема условных обозначений

2. Текстурное заполнение

3. Деформация текстуры

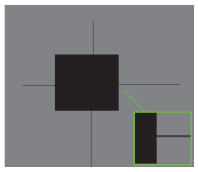
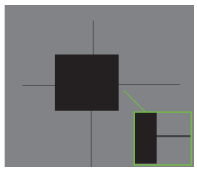
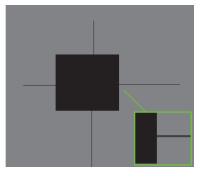
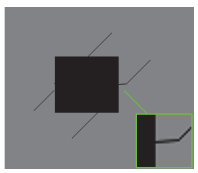
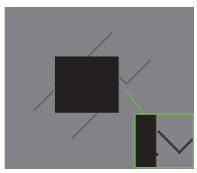
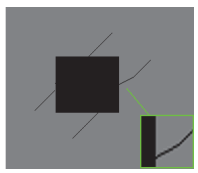
Метод основан на масштабировании участка текстуры на границе разрыва имеющей меньший параллакс, т.е. относящейся к дальним объектам.

$$I(x,y) = I(x_0 - len\cdot dir + \frac{offset}{2}, y)$$

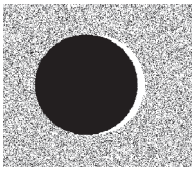
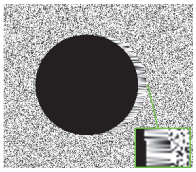
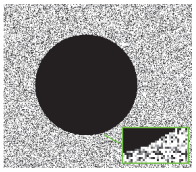
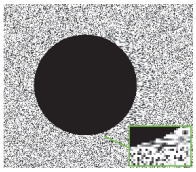
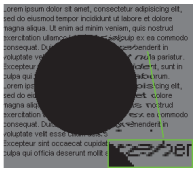
Для выполнения сравнительного анализа на вход алгоритмов подавались специально синтезированные изображения (табл. 1), содержащие участки с "критической" геометрией.

Таблица 1

Результаты экспериментов

№	Без интерполяции	Линейная интерполяция	Копирование текстуры	Деформация текстуры	Визуальная оценка
1					искажения отсутствуют
2					имеются искажения, лучший результат показал алгоритм деформации текстуры
3					искажения отсутствуют

Окончание табл. 1

№	Без интерполяции	Линейная интерполяция	Копирование текстуры	Деформация текстуры	Визуальная оценка
4					имеются искажения, лучший результат показал алгоритм деформации текстуры
5					линейная интерполяция дает явные искажения, текстурное заполнение - искажений нет, деформации текстуры - незначительные искажения
6					имеются искажения во всех методах, лучший результат показал алгоритм деформации текстуры

Результаты исследований сведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика рассматриваемых в работе алгоритмов

	Горизонтальные и вертикальные линии, перпендикулярные объекту	Наклонные линии	Горизонтальные линии, не перпендикулярные объекту	Вертикальные линии, не перпендикулярные объекту	Белый шум, имитирующий однородную текстуру	Сложная нерегулярная текстура на примере текста
Номер эксперимента	1	2	3	4	5	6
Интерполяция	+	-	+	-	--	--
Копирование текстуры	+	-	+	-	+	--
Деформация текстуры	+	+/-	+	+/-	+/-	+/-

Выводы. Использование одномерных методов восстановления недостающих участков на изображении дает положительный результат только на областях, имеющих слабовыраженную текстуру, при этом каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки, что предполагает их комплексное применение. Повышение качества результата восстановления возможно за счет комбинированного подхода, заключающегося в предварительном вычислении критерия, основанного на анализе границ области восстановления на предмет текстурных особенностей[4], а также связанности соседних пикселей по цвето-яркостному соотношению. Это даст возможность перейти от одномерного восстановления к двухмерному, учитывающему композицию объектов на изображении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Jon Karafin*. State-of-the-Art 2D to 3D Conversion and Stereo VFX International 3D Society University. Presentation from the October 21, 2011 3DU-Japan event in Tokyo.

2. *В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко*, Компьютерная обработка и распознавание изображений : учеб. пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

3. *T. Acharya, P.S. Tsai.* Computational Foundations of Image Interpolation Algorithms. ACM Ubiquity Vol. 8, 2007

4. *Жук С.В.* Обзор современных методов сегментации растровых изображений. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Т. 6. № 6. С. 115-118.

УДК 62-529

А. С. Горобцов, А. С. Дьяков, А. С. Олейников

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВИБРОЗАЩИТНЫМ ПОДВЕСОМ СО СТУПЕНЧАТЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ЖЕСТКОСТИ

Волгоградский государственный технический университет

vm@vstu.ru

В статье рассмотрен набор алгоритмов демпфирования в пневморессоре с использованием микропроцессора. Представлен базовый метод управления демпфированием, который был взят за основу. Также приведены описания разработанных алгоритмов. С их использованием были проведены эксперименты, по результатам сравнения которых была оценена эффективность алгоритмов.

Ключевые слова: алгоритм, демпфирование, пневматическая рессора, микропроцессор.

A. S. Gorobtsov, A. S. Dyakov, A. S. Oleynikov

CONTROL ALGORITHMS OF VIBROPROTECTIVE SUSPENSION WITH STEPWISE CHANGE OF HARDNESS

Volgograd State Technical University

In article set of damping algorithms in air spring using microprocessor is considered. The basic method of damping control is produced. Descriptions of developed algorithms also are cited. Experiments with their use were carried out, by comparing the results of which algorithms efficiency was estimated.

Keywords: algorithm, damping, air spring, microprocessor.

Современные средства активной виброзащиты автотранспортных средств основаны на регулировании их упругих и демпфирующих характеристик. На базе существующей микропроцесссорной техники возможно создание компактных исполнительных устройств активной системы виброзащиты, в которых будут реализованы достаточно сложные квазиоптимальные алгоритмы управления [1, 2, 4].

В настоящей работе рассматривается интеллектуальное устройства управления жесткостью пневматической подвески автотранспортного средства.

В разработанной системе управление демпфированием построено на микроконтроллере и включает датчик давления, два клапана и интерфейс сопряжения с персональным компьютером. Клапаны соединяют и разъединяют рабочую полость пневморессоры с удлиненным полым металлическим цилиндром объемом 20 л. Микроконтроллер обеспечивает две основные функции: выборку данных с датчика давления с частотой 100 Гц, управление клапанами по заданному алгоритму с последующей передачей текущего состояния виброзащитного устройства (давление и состояний клапанов) на персональный компьютер для визуализации и анализа результатов экспериментов. Параметры алгоритма управления клапанами, приведенные в табл. 1, могут настраиваться и передаются от персонального компьютера[3].

Таблица 1

Параметры алгоритма управления

Название	Описание
N	Длина фильтра скользящего среднего
ΔP_1	Наименьшее отклонение давления, с которого начинается поиск спада
ΔP_2	Наименьший спад давления для закрытия клапанов
T	Время ожидания при поиске спада давления

Программа работы модуля управления клапанами разрабатывалась на основе алгоритма «skyhook»[5]. Ее можно представить в виде конечного автомата, диаграмма состояний которого приведена на рис. 1.

Текущее значение давления всегда является усредненным среди последних N считанных значений давления. Таким образом, в системе реализуется фильтр скользящего среднего для устранения высокочастотных выбросов. При запуске системы управления, пока очередь не наполнится, модуль накапливает данные. После этого модуль переходит в состояние «Давление вблизи среднего», клапаны открываются. Если в этом состоянии отклонение текущего значения от среднего P_{av} превысит заданный порог ΔP_1, то автомат переходит в состояние «Рост кривой давления», клапаны остаются открытыми. В этом состоянии выдерживается интервал T, далее ожидается спад давления. Спад

давления фиксируется, когда разница между максимальным и текущим отклонениями станет более заданного значения ΔP_2. Как только это происходит, производится переход в состояние «Спад кривой давления», оба клапана закрываются. В этом состоянии автомат находится, пока давление снова не попадет в «зону» вблизи среднего, после чего клапаны вновь открываются, и автомат возвращается в состояние «Давление вблизи среднего».

Графически работу автомата можно представить в виде схемы, приведенной на рис. 2. Зеленым графиком представлено изменение давления. Красным – состояние клапанов: нижнее положение соответствует открытым клапанам, а верхнее – закрытым.

Рис. 1. Диаграмма состояний модуля управления клапаном

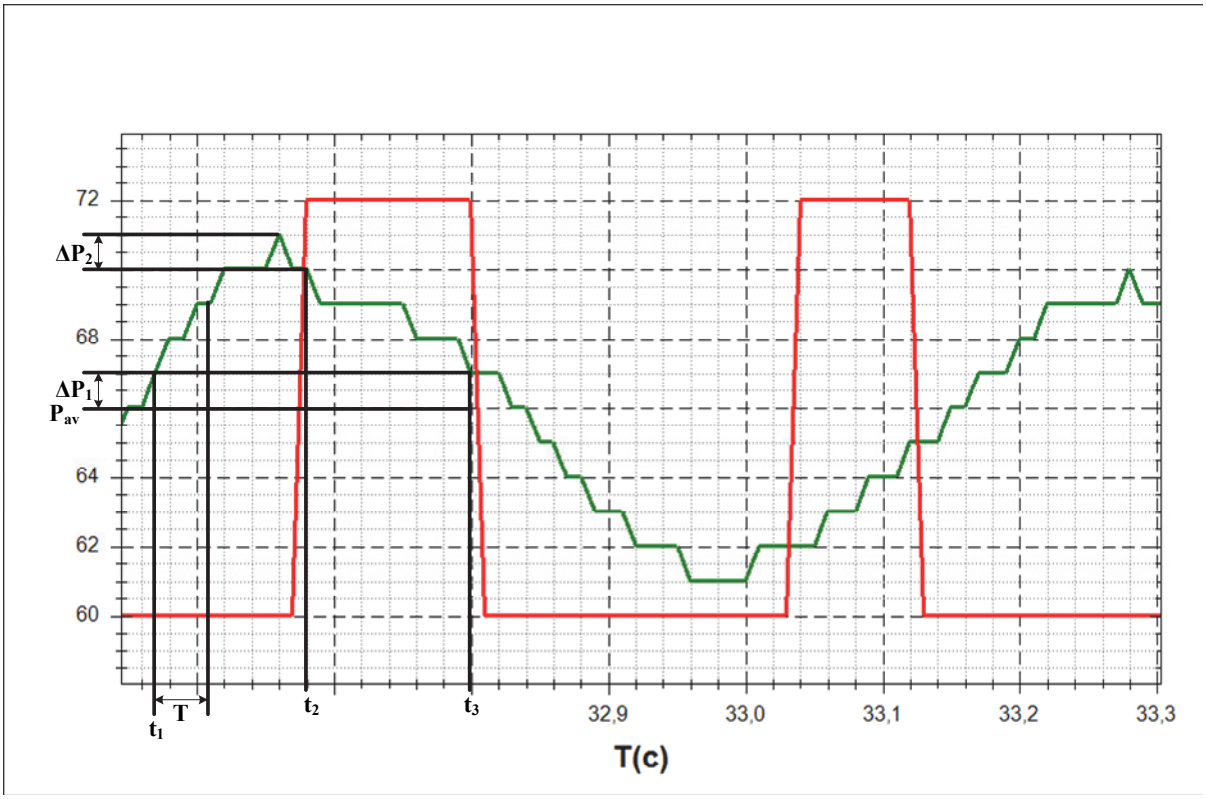


Рис. 2. Схема работы конечного автомата по алгоритму (в качестве примера приведены экспериментальные кривые)

Согласно графику на участке до t_1 автомат находился в состоянии «Давление вблизи среднего» (клапаны открыты), t_1-t_2 – состояние «Рост кривой давления» (клапаны открыты), t_2-t_3 – «Спад кривой давления» (клапаны закрыты), а после t_3 происходит возврат к состоянию «Давление вблизи среднего» (клапаны открыты).

Математически работу конечного автомата можно представить в следующем виде:

$$U(t)=\begin{cases}0, p>P_{av}, \dfrac{dp}{dt}>0;\\ 0, p>P_{av}, \dfrac{dp}{dt}<0, (p\le P_{av}+\Delta P_1) или (t-t_1<T) или (p\ge P_{\max}-\Delta P_2);\\ 1, p>P_{av}, \dfrac{dp}{dt}<0, p>P_{av}+\Delta P_1, t-t_1\ge T, p<P_{\max}-\Delta P_2;\\ 0, p<P_{av}, \dfrac{dp}{dt}<0;\\ 0, p<P_{av}, \dfrac{dp}{dt}>0, (p\ge P_{av}-\Delta P_1) или (t-t_1<T) или (p\le P_{\min}+\Delta P_2);\\ 1, p<P_{av}, \dfrac{dp}{dt}>0, p<P_{av}-\Delta P_1, t-t_1\ge T, p>P_{\min}+\Delta P_2.\end{cases}$$

Здесь U(t) – функция состояния клапанов. При U(t) = 0 клапаны открыты, при U(t) = 1 – закрыты.

Исследование возможностей и основных характеристик разработанной системы управления проводилось на испытательном стенде с пневматической подвеской по алгоритму, в который включены отдельные, но наиболее значимые параметры управления виброзащитными устройствами.

Для проверки эффективности работы алгоритма производится запись значений ускорения подрессоренной массы. Пример реализации ускорения приведен на рис. 3.

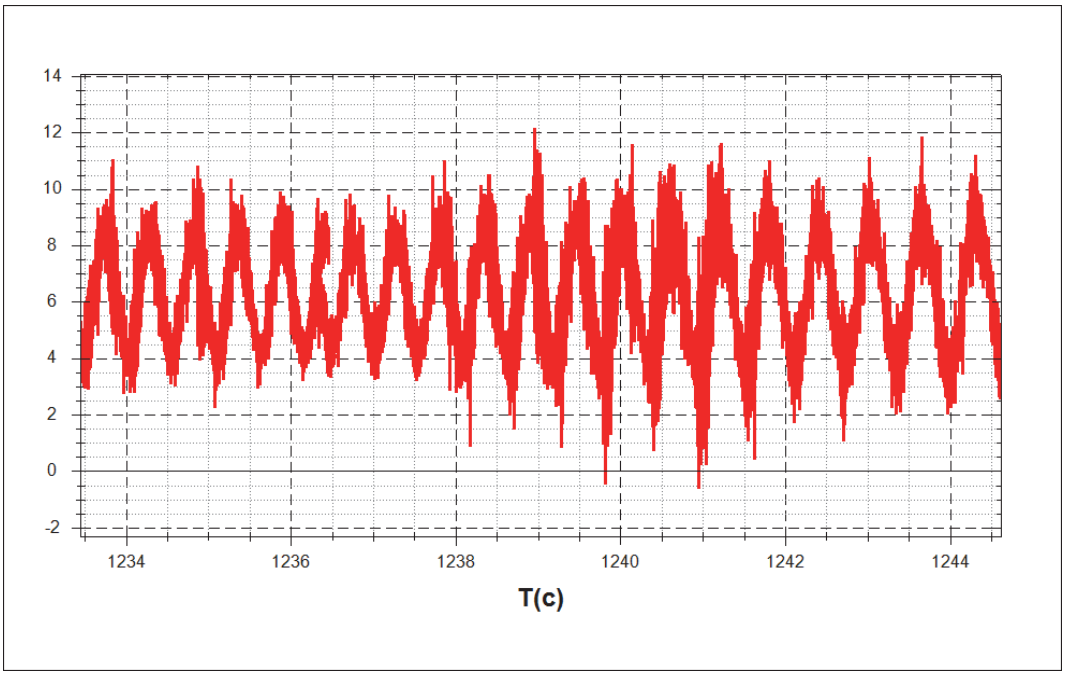


Рис. 3. Ускорение подрессоренной массы

На основе полученных данных при плавном изменении частоты колебаний от 0 до 2 Гц. были построены спектры вертикальных ускорений подрессоренной массы. Спектры без алгоритма (с открытыми клапанами) сравниваются со спектрами, полученными при использовании

алгоритма. Согласно им применение разработанной системы уменьшает среднеквадратичное отклонение на рабочем интервале частот – 0,8-1,6 Гц. – в среднем на 2,07%.

Также был проведен ряд экспериментов с другими значениями параметров алгоритма, при которых продолжительность этапа спада давления, во время которого клапаны закрыты, была больше. В этом случае СКО в среднем уменьшилось на 5,04%.

Был испробован другой вариант алгоритма: продолжительность этапа спада давления фиксирована по времени. Производились эксперименты при закрытии клапанов на 0,1 с., 0,2 с и 0,3 с. Согласно полученным результатам СКО при использовании такого варианта алгоритма было уменьшено на 31,51% при продолжительности этапа спада давления 0,1 с., 24,60% при 0,2 с., а при 0,3 с. – увеличено на 6,79%.

На рис. 4 приведены усредненные спектры ускорений подрессоренной массы при открытых клапанах (зеленый график) и при использовании описанного выше варианта алгоритма регулирования жесткости подвески (красный график) при закрытии клапанов на 0,1 с.

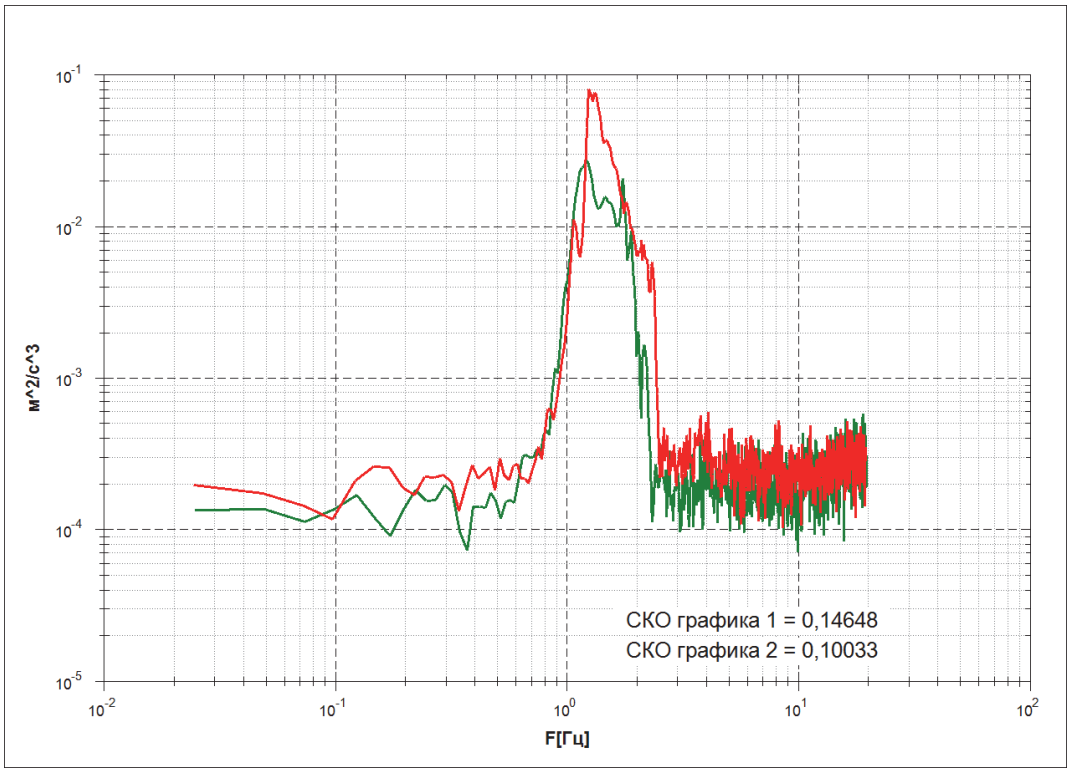


Рис. 4. Спектры ускорений подрессоренной массы. Постоянное время закрытия клапанов 0,1 с

Для учета разных скоростей движения подрессоренной массы при растяжении и сжатии был испробован доработанный алгоритм, во время работы которого среднее значение давления, относительно которого происходит изменение состояний автомата системы, изменяется на определенный коэффициент. Эксперименты с данной модификацией алгоритма проводились при значениях коэффициента 1,3 и 1,5. Среднеквадратическое отклонение вследствие данных изменений увеличилось в среднем на 4,42 % при коэффициенте 1,3 и уменьшилось в среднем на 11,49 % при коэффициенте 1,5 по сравнению со среднеквадратическим отклонением при постоянно открытых клапанах.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов можно оформить в сводную табл. 2.

Таблица 2

Сводная таблица результатов экспериментов

Вариант алгоритма	Уменьшение СКО, %
Без модификаций	2,07
Увеличенная продолжительность закрытия клапанов	5,04
Постоянное время закрытия клапанов 0,1 с.	31,51
Постоянное время закрытия клапанов 0,2 с.	24,60
Постоянное время закрытия клапанов 0,3 с.	-6,79
Увеличенное в 1,3 среднее значение давления	-4,42
Увеличенное в 1,5 среднее значение давления	11,49

Основываясь на приведенных итогах можно сделать вывод, что самый лучший результат показал вариант использования постоянного времени закрытия клапанов, причем, на самое меньшее время. Закрытие клапанов на большее время ведет к ухудшению эффекта от применения системы. Однако очевидно, что данная модификация алгоритма не будет показывать таких положительных результатов при несинусоидальных воздействиях.

Отрицательный эффект, продемонстрированный вариантом алгоритма при увеличении среднего значения давления в 1,3, требует дальнейшего изучения. При коэффициенте 1,5 применение системы показало положительный результат.

В дальнейшем планируются применение совмещенных вариантов использованных алгоритмов, а также разработка новых.

Таким образом, применение вышеописанного интеллектуального устройства управления жесткостью пневмоподвески при грамотном подборе используемого алгоритма может обеспечивать существенный эффект демпфирования колебаний подрессоренной массы. Соответственно, будет обеспечиваться более комфортное для пассажира движение автомобиля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Использование широковещательного канала для минимизации временных задержек в системе управления шагающим движителем мобильного робота / А.Д. Мохов, А.С. Олейников //

2. *Новиков В.В., Дьяков А.С., Федоров В.А*. Пневморессора с регулируемым по амплитуде и направлению воздушным демпфером // Автомобильная промышленность, 2007, №10 – с. 21-22.

3. Пневматический виброподвес с микропроцессорным управлением демпфированием / А.В. Еременко, В.Н. Скакунов, А.С. Дьяков, А.С. Олейников // Известия ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 16 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 8. – С. 31–34.

4. *Хамитов Р.Н.* Синтез системы управления импульсным электродинамическим клапаном пневмоамортизатора, Справочник. // Инженерный журнал, 2008, №2 – с.62-64.

5. *D. Karnopp, M. J. Crosby*, and R. A. Harwood, “Vibration control using the semi-active force generators”, ASME J. Eng. Ind., vol. 96, pp. 619–626, 1974.

УДК 004:677.025

А. А. Казначеева, О. В. Кочеткова, Е. Н. Ломкова, А. А. Эпов

ОНТОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВОВЯЗАНОГО ТРИКОТАЖА

Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
ivt@kti.ru

В статье приведена онтология задачи автоматизированного структурно-параметрического проектирования основовязаного трикотажа. Основой построения онтологии является описание ее математической модели, а результатом – модель проектирования, ассоциированная с состоянием проектирования. При решении задачи генерируется множество состояний проектирования, которые в совокупности представляют пространство проектирования. Переход от одного состояния к другому в процессе поиска решения осуществляется с помощью операторов проектирования.

Ключевые слова: автоматизированное, структурно-параметрическое, проектирование, основовязаный трикотаж, онтология, модель, структура, параметр, оператор, пространство.

A. A. Kaznacheyeva, O. V. Kochetkova, E. N. Lomkova, A. A. Epov

ONTOLOGY OF AUTOMATED STRUCTURAL AND PARAMETRICAL DESIGN OF WARP-KNITTED FABRIC

Kamyshin Technological Institute (branch)
of Volgograd State Technical University

The article gives an ontology of the problem of the automated structural and parametrical design of warp-knitted fabric. The basis of the ontology creation is its mathematical model description, and the result is a design model associated with a condition of design. While solving the task a set of design conditions which in the aggregate represent design space is generated. A transition from one condition to another in the course of search of a decision is carried out with the help of design operators.

Keywords: automated, structural and parametrical, design, warp-knitted fabric, ontology, model, structure, parameter, operator, space.

Основой построения онтологии автоматизированного структурно-параметрического проектирования трикотажа служит описание его модели [1]. В общем случае структурно-параметрическое проектирование – это процесс, в результате которого определяется структура объекта и находятся значения параметров составляющих ее элементов таким образом, чтобы были удовлетворены условия задания на проектирование. Если при этом проектируемый объект получается оптимальным по какому-либо критерию, то проектирование является оптимальным.

Описание математической модели структурно-параметрического проектирования основовязаного трикотажа определяется [2]: множеством компонентов $D_k = <S, P, V_r, C, R, P_r, cf>$ и множеством моделей проектных решений $\{D_{sol\text{-}1},\dots , D_{sol\text{-}n}\}$, где S – набор элементов структуры $\{s_1,\dots , s_n\}$; P – набор параметров $\{p_1,\dots , p_n\}$; V_r – набор значений параметров $\{V_1,\dots , V_n\}$, где $V_i=\{v_{i1},\dots, v_{il}\}$ – набор значений каждого параметра; C – набор ограничений на значения $\{c_1,\dots , c_m\}$; R – набор требований, предъявляемых к модели $\{r_1,\dots , r_k\}$; P_r – набор предпочтений $\{P_{ri},\dots, P_{rj}\}$; cf – глобальная стоимостная функция.

Элемент структуры s_i определяет примитивный элемент модели проектирования. Параметр p_i характеризует тот или иной элемент структуры. Каждый параметр связывается с диапазоном значений v_i, который определяется множеством величин, присваиваемым p_i. Предположим, что существуют в среднем m возможных значений для параметра и n параметров. Тогда размер пространства проектирования N определяется по формуле $N=m^n$. Функционально зависимыми называются параметры, чье значение однозначно определено функциональными зависимостями или требованиями. Параметр, который функционально независим, называется ключевым, и его возможные значения определяются степенью свободы в процессе проектирования, т.е. действительным размером пространства проектирования [2].

Ограничения c_i определяют условия, которые не должны нарушаться проектируемым объектом. Требования r_i устанавливают свойства, которым должно удовлетворять решение. Обычно ограничения независимы, а требования, как правило, зависят от конкретного случая. В общем, ограничения и требования выражают проектные предписания, которые помогают различать конкретную результирующую модель проектирования (*МП*) от всех остальных моделей.

Предпочтения P_{ri} описывают знания задачи, которые классифицируют модели проектирования в соответствии с некоторой точкой зрения. Формально, предпочтение – это отношение частичного порядка, определенное в пространстве моделей проектирования. Различные точки зрения связаны с различными отношениями частичного порядка. Очевидно, что частичный порядок, определенный для одного предпочтения может отличаться от другого. В некоторых случаях различные точки зрения могут противоречить друг другу.

Обычно спецификация задачи структурно-параметрического проектирования включает несколько предпочтений, которые моделируют различные точки зрения для классификации результатов. Для того чтобы получить множественный критерий предпочтения, появляющийся в течение предметного анализа, обычно вводится понятие глобального предпочтения. Глобальное предпочтение g_p – это отношение частичного порядка, которое комбинирует отдельные предпочтения для обеспечения универсальной точки зрения при классификации моделей проектирования. Для удобства включают понятие глобальной стоимостной функции cf, такое, что $cf(D_j) \le cf(D_k)$, если и только если $(D_j, D_k) \in g_p$.

Глобальная стоимостная функция является критерием порядка достижения конечного состояния. Такой критерий должен конструироваться для комбинации предпочтений по стоимостному критерию. Величина стоимостной функции связана с моделью проектирования, поэтому для любых двух моделей проектирования отношение g_p можно оценить сравнением с ним стоимостей.

Рассмотрев элементы структуры, параметры и их значения, наборы требований, ограничений, предпочтений и стоимостную функцию, покажем, как определяются модели проектирования: 1) *МП* – это набор $<s_i, p_i, v_{ij}>$, где s_i – элемент структуры, p_i – параметр, характеризующий s_i и v_{ij} – определенное значение p_i в модели проектирования [3]; 2) *МП* D_k называется полной, если каждый параметр в наборе параметров P имеет значение в множестве компонентов D_k; 3) *МП* называется согласованной, если не нарушается ни одной зависимости в наборе ограничений C; 4) *МП* называется прием-

лемой, если она удовлетворяет всем требованиям R, предъявляемым к модели; 5) *МП* называется функциональной, если она является согласованной и приемлемой; 6) *МП* называется решением, если она является функциональной и полной; 7) проектное решение $D_{sol\text{-}k}$ – оптимальное, если оно является решением и не существует никакого решения $D_{sol\text{-}j}$ такого, что $cf(D_{sol\text{-}j}) < cf(D_{sol\text{-}k})$.

Обычно *МП* ассоциируется с состоянием проектирования. При решении задачи генерируется множество состояний проектирования, которые в совокупности называются пространством проектирования. При этом переход от одного состояния к другому в процессе поиска решения осуществляется с помощью операторов проектирования, которые определяются переходом между моделями проектирования. Предполагается, что операторы определяются ключевыми параметрами проектирования. Связь между состояниями проектирования в модели также описывается операторами проектирования [4].

На основе выше приведенного математического описания модели онтология автоматизированного структурно-параметрического проектирования трикотажа уточного переплетения с заданными начальными условиями имеет следующий вид [5]:

Имя задачи: *структурно-параметрическое проектирование основовязаного трикотажа уточного переплетения.*

1. Понятия: 1.1. Цель задачи → осуществить структурно-параметрическое проектирование основовязаного трикотажа уточного переплетения. 1.2. Входные параметры → матрица рисунка, раппорты рисунка по высоте и ширине, вид нити, линейная плотность нити, класс вязальной машины, раппорты сновки и проборки грунтовых и уточных гребенок, цифровые записи работы грунтовых и уточных гребенок. 1.3. Выходные параметры → средний диаметр нитей, петельный шаг, высота петельного ряда, количество петельных столбиков в 100 мм трикотажа по ширине, количество петельных рядов в 100 мм трикотажа по длине, количество грунтовых и уточных нитей в раппорте, поверхностная плотность трикотажа, теоретическая производительность вязальной машины.

2. Свойства: ограничения → допустимые значения длин грунтовых и уточных нитей в раппорте; количество игл в грунтовых и уточных гребенках; требования → малая растяжимость трикотажного полотна, незначительная усадка.

3. Правила → 1) определение параметров структуры трикотажа с учетом заработки уточных нитей; 2) определение поверхностной плотности и содержания в трикотаже уточных и грунтовых нитей.

4. Аксиомы → 1) модель проектирования закончена, когда все элементы структуры определены и все параметры означены; 2) модель проектирования определяет однозначное отображение параметров на значения; 3) модель проектирования корректна, когда все параметры связаны с допустимыми значениями; 4) модель проектирования является решением, когда она корректна и закончена.

Следует отметить, что уже на этапе создания онтологии задачи структурно-параметрического проектирования трикотажа в них присутствуют предметные знания, заданные начальной спецификацией, такие как: цель, входные и выходные параметры, требования и ограничения. При этом предметные знания представлены в онтологии задачи не конкретными значениями, а ролью этих знаний в предметной области [4]. Определенные в онтологии задачи предметные знания влияют на дальнейший выбор онтологии метода решения, и уточняются конкретными значениями при соединении онтологий задачи и принятия решения с онтологией предметной области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кочеткова О.В.* Реализация онтологического подхода в учебно-исследовательской САПР основовязаного трикотажа / О.В. Кочеткова, А.А. Казначеева // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 12. – 2011. – № 11. – С. 118 – 122.

2. *Motta E., Zdrahal Z.* Parametric Design Problem Solving. In Gaines B. And Musen M. (editors) Proceedings of the 10-th Banff Knowledgr Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop (KAW`96), Banff, Canada, November 9 – 14, 1996.

3. *Zdrahal Z., Motta E.* An In-Depth Analysis of Propose & Revise Problem Solving Methods. In B.R. Gaines and M. Musen (editors) Proceedings of the 9-th Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop. Banff, Canada, 1995.

4. *Елисеева Н.В.* Разработка метода и средств представления модели знаний в задачах автоматизированной конструкторско-технологической подготовки производства: Автореф. дис. канд. техн. наук / МГТУ «СТАНКИН». – М., 2007. – 22 с.

5. *Казначеева А.А.* Автоматизированное проектирование трикотажа основовязаных переплетений: Автореф. дис. канд. техн. наук / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – 21 с.

УДК 004.93:004.89

Д. Р. Касимов, А. В. Кучуганов

ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ ГРАФИЧЕСКОГО ПОИСКА ЧЕРТЕЖЕЙ, ОСНОВАННОЙ НА СТРУКТУРНЫХ МОДЕЛЯХ ГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ

Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова

kasden@mail.ru, Aleks_KAV@udm.ru

В статье предлагаются пути повышения качества поиска технических чертежей за счет содержательного описания изображений на основе когнитивного подхода к распознаванию образов, рассматриваются возможности основанной на нем системы комплексного графического поиска чертежей GrSearch, производится сравнение системы с ее аналогами.

Ключевые слова: технический чертеж, сопоставление образов, нечеткий пространственный нагруженный граф, лучевой граф.

D. R. Kasimov, A. V. Kuchuganov

THE POSSIBILITIES OF A TECHNICAL DRAWING RETRIEVAL SYSTEM BASED ON THE STRUCTURAL GRAPHIC PATTERN MODELS

Kalashnikov Izhevsk State Technical University

In the paper the ways to improve the technical drawing retrieval quality at the expense of the substantial image description based on a cognitive pattern recognition approach are proposed, the possibilities of the system GrSearch of the complex graphical search of technical drawings based on the approach are considered, a comparison of the system and its analogues is made.

Keywords: technical drawing, pattern matching, fuzzy spatial attributive graph, beam graph.

Ускорить процесс проектирования новых изделий можно путем эффективного применения (задокументированного) опыта, накопленного в чертежах. Стандартные средства поиска чертежей, основанные на кодах классификации, текстовых описаниях, ключевых словах и т.п., имеют ряд недостатков: субъективизм, поверхностное описание детали с акцентом на функциональное назначение, а не на ее геометрию, высокая трудоемкость создания и сопровождения архива, неудобно формулировать запросы.

На наш взгляд, заметного повышения качества поиска технических чертежей (в т.ч. архивных) можно добиться за счет создания моделей и методов распознавания образов, позволяющих:

1. Решать задачи поиска на различных, понятных проектировщикам уровнях восприятия (абстракции) графической информации, базируясь на типовых элементах машиностроения и словесных терминах.

2. Сравнивать графические объекты толерантно не только к аффинным (поворот, масштаб, симметрия), но и к топологическим преобразованиям (локальные растяжения, сжатия, изгибы) в связи с тем, что сейчас детали в основном проектируются по технологии параметрического конструирования.

3. Обнаруживать вхождения одного графического объекта в другой: часто проектировщика интересует не вся деталь, а локальное конструктивное решение в ней.

4. Оперировать составляющими графического объекта на индивидуальных уровнях нечеткости, задаваемых по устанавливаемым пользователем правилам, позволять ему классифицировать составляющие на решающие, не обязательные, исключаемые из рассмотрения. Это позволило бы пользователю более точно выражать свою поисковую потребность.

5. Фиксировать элементы сходства и отличия графических объектов. Наглядная визуализация совпавших элементов – наиболее эффективный вид обратной связи с пользователем.

В развиваемом нами подходе к распознаванию образов исходной моделью представления графического объекта является нечеткий пространственный нагруженный граф (НПНГ) [1] $G = (V, A_V, E, A_E, A_O)$, где V – множество узлов, описывающих составляющие объекта с помощью параметров A_V; $E \subseteq V \times V$ – множество ребер, отображающих пространственные отношения между составляющими с помощью параметров A_E; A_O – глобальные параметры описываемого объекта; параметры A_V, A_E, A_O имеют преимущественно

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 11-07-00632-а, 11-07-00783-а), Госзаказа МОиН РФ №4043.

нечеткое представление (лингвистические переменные, оценки сходства с типовыми конфигурациями, степени значимости).

В процессе анализа и распознавания графического объекта на базе его НПНГ строятся (неявно – во избежание лишней работы) и анализируются лучевые графы. Назовем лучевым графом (ЛГ) с центром в точке *v0* граф $GB(v0) = (VB, A_{VB}, EB, A_{EB}, A_{OB}), v0 \in VB$, в котором центральная вершина *v0* не имеет входящих дуг, а у всех остальных вершин есть одна и только одна входящая дуга [1]. Каждая вершина/ребро НПНГ – прообраз множества вершин/дуг ЛГ. Теоретически ЛГ может быть бесконечным, но практически его высота ограничивается, например, запретом повторения вершин в рамках одной ветви. Значения параметров отдельной вершины/дуги ЛГ зависят от параметров предыдущей вершины/дуги, и, в итоге, от параметров *v0*. На наш взгляд, рекурсивный анализ ЛГ из центральной вершины *v0* – это формирование и исследование по отдельным составляющим цельного образа, видимого из точки *v0* на определенную глубину.

Рассмотренный подход реализован в системе графического поиска чертежей GrSearch, основными возможностями которой являются: 1) задание запроса в форме чертежа или сканированного эскиза; 2) на чертеже-запросе искомая деталь может быть изображена полностью или частично; 3) возможность более точного выражения поисковой задачи путем настройки параметров отдельных составляющих чертежа-запроса; 4) подсвечивание совпавших элементов; 5) система распознает и может игнорировать при сопоставлении конструктивные элементы (КЭ); 6) автоматическая векторизация чертежей.

На рис. 1 представлено диалоговое окно поиска. В нем выбирается и настраивается описатель (поисковый образ) чертежного объекта, по которому будет производиться поиск. Каждый вид описателя позволяет решать поисковую задачу по-разному [2]:

1. Граф особых точек и участков (ГОТУ) внешнего контура детали. Достаточен для деталей, не имеющих внутренних элементов, а для остальных деталей хорош в плане проведения предварительного поиска.

2. Граф контуров – высокоуровневое представление для несвязных чертежных объектов, включает внешний и внутренние контуры, КЭ, другие конструктивно значимые элементы.

3. ГОТУ проекционного вида или чертежного объекта. Применяется в основном для проведения детального поиска, поиска связного фрагмента, в частности, КЭ.

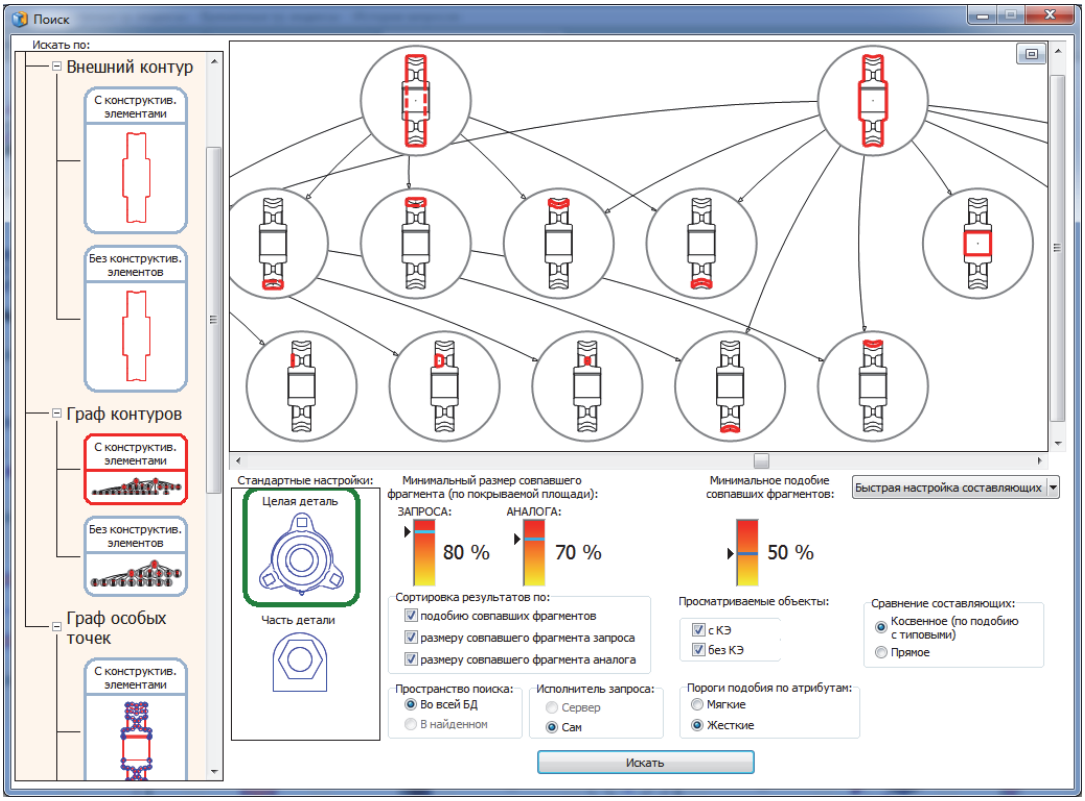


Рис. 1. Диалоговое окно поиска

Значения некоторых из параметров поиска приписываются отдельным составляющим поискового образа запроса. По-умолчанию, требования подобия по размеру и форме – средние, разрешается объединять соединяющиеся в особой точке участки в один, ни одна из составляющих не обязана входить в совпавшую часть. Поэтому исходный поисковый образ запроса выражает поисковое задание весьма расплывчато. Если по нему система не выдала ожидаемых результатов, то следует попробовать переключить параметры некоторых составляющих на строгие/слабые. Составляющие, параметры которых изменены, отрисовываются другим цветом/формой/толщиной (рис. 2).

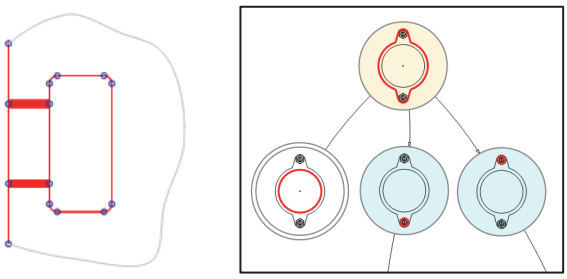


Рис. 2. Визуализация уточненных поисковых образов

На рис. 3 представлен пример результатов поиска деталей по фрагменту внешнего контура, автоматическое обведение вхождений и подсвечивание совпавших элементов.

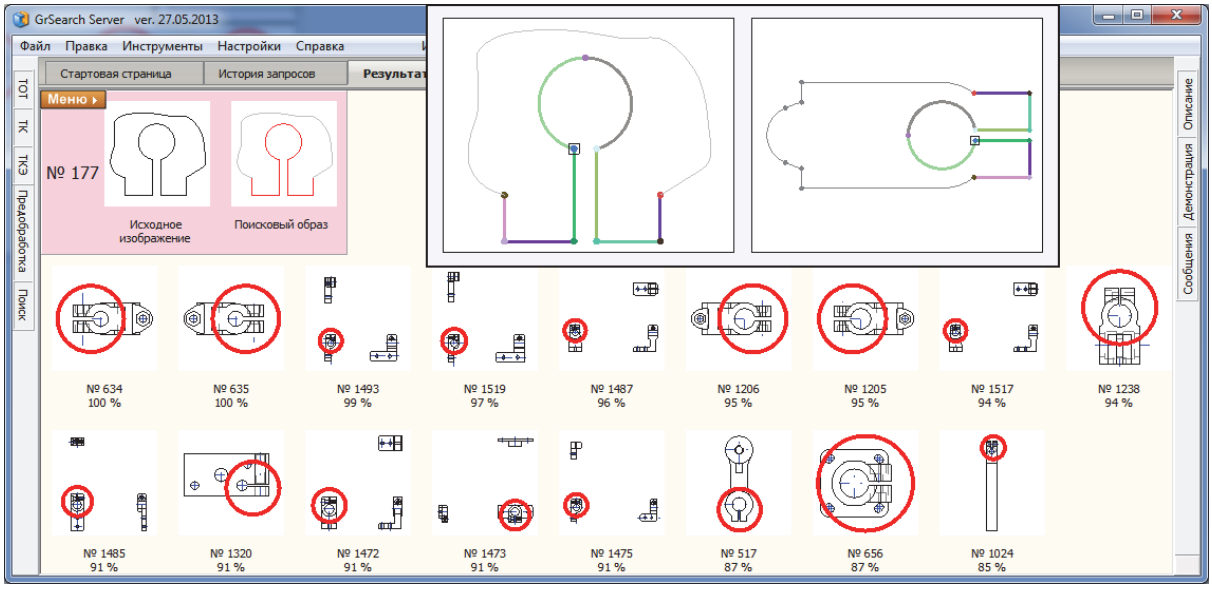


Рис. 3. Пример результатов поиска

Тестирование проводилось на базе из 7355 шт. чертежей на компьютере Intel Pentium E6800 3.33GHz, 2GB DDR3. Минимальное время поиска составляло 50 секунд, среднее – 1.5 минуты, а максимальное – 8 минут (при детальном поиске по поисковым образам третьего вида).

На рис. 4 представлен пример результата автоматической предобработки чертежа. При включенном режиме распознавания и удаления КЭ система индексирует 300 сложных чертежей за 24 минуты, а при выключенном – за 8 минут.

Рассмотрим системы-аналоги. Коммерческая система CADFind компании AST [3] основывается на представлении геометрии, материала, техпроцесса деталей в виде векторов признаков и их сопоставлении путем нечеткого сравнения.

В коммерческой системе компании Fujitsu [4] чертеж представляется атрибутивным графом, в котором узлы характеризуют примитивы (отрезки и дуги), а ребра – пространственные отношения между ними. Проблема поиска формулируется как проблема сопоставления атрибутивных графов, которое выполняется в системе путем применения теории среднего поля.

В экспериментальной системе ShapeLab университета Purdue [5] реализовано два метода сопоставления чертежей. В первом методе чертежи представляются как сферические функции; для их сравнения применяется быстрое преобразование. Во втором статистическом методе чертеж представляется как распределение расстояний между парами случайно выбираемых точек; для измерения подобия между двумя такими гистограммами используется расстояние Минковского.

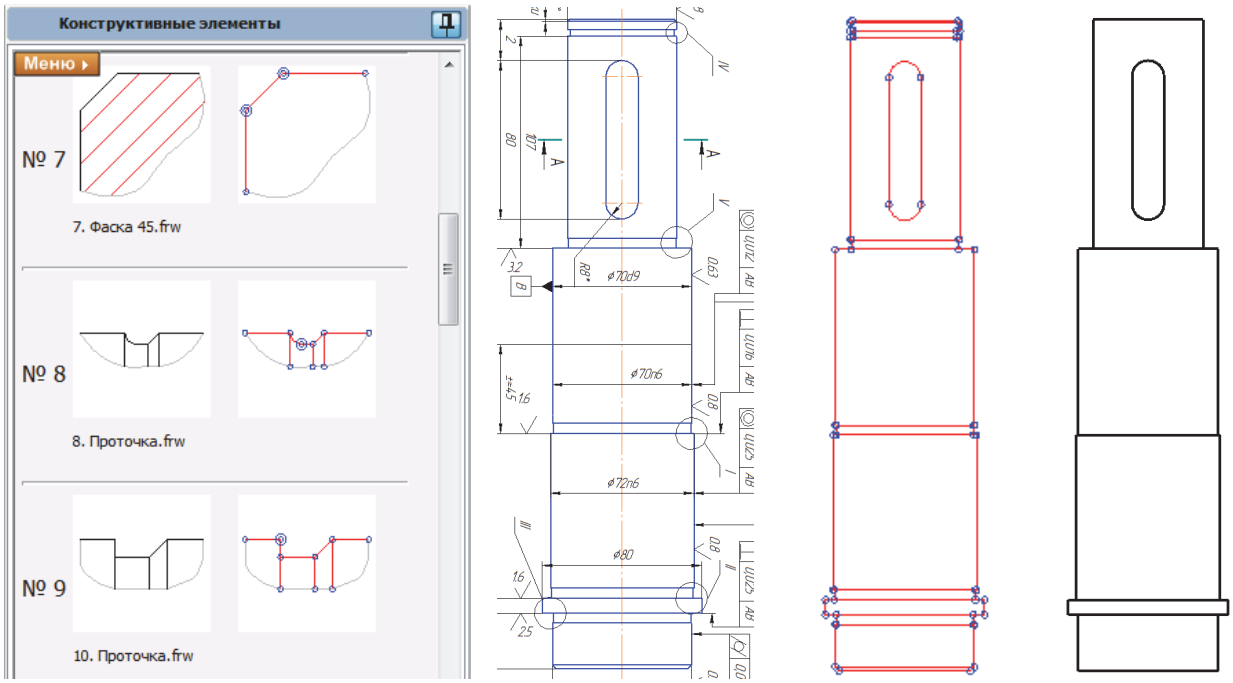


Рис. 4. Автоматическое распознавание и удаление КЭ:
а – база образов типовых КЭ; *б* – исходный чертеж; *в* – ГОТУ объекта чертежа; *г* – объект чертежа после удаления КЭ

Другая система из университета Purdue [6] нацелена на структурное сопоставление внешних контуров деталей. Исходный контур раскладывается на два уровня: особые точки и группы элементов между ними. Уровни ассоциируются друг с другом посредством таблицы соответствия. Сопоставление контуров осуществляется в два шага: 1) генерация вариантов соответствия особых точек; 2) выбор лучшего варианта, в котором подобие цепочек элементов между особыми точками максимально.

Экспериментальная система SIBR Лиссабонского университета [7] основывается на представлении проекционного вида детали в виде двух дескрипторов: топологического и геометрического. Топологический дескриптор строится по графу полигонов чертежа (узлы – изолированные полигоны, выделенные на чертеже, ребра - отношения включения и касания между полигонами). Геометрический дескриптор – многомерный вектор, хранящий геометрические характеристики полигонов, такие как отношения площади, периметра и др. С целью поддержки поиска не только полных чертежей, но и их частей, для каждого чертежа в хранилище генерируются и преобразуются в дескрипторы различные варианты фрагментов и различные уровни детализации чертежа. Поиск является двухэтапным: сначала по топологическим, а затем по геометрическим дескрипторам.

На рис. 5 представлены результаты работы нашей системы на тех же материалах, на которых тестировалась система структурного сопоставления контуров [6], более близкая по идеологии к нашей системе, чем остальные.

Создатели приведенного теста оценивали надежность сопоставления в случаях, когда детали значительно различаются локальными растяжениями и/или изгибами, но при этом имеют глобальное сходство. С нашей точки зрения, выборка не совсем адекватна практическим поисковым задачам, чувствуется ее малый объем. В нашей системе этот тест мы проводили с ослабленными требованиями подобия.

В табл. 1 представлено сравнение возможностей описанных систем графического поиска чертежей.

Ни одна из рассмотренных систем-аналогов не способна в полной мере удовлетворить потребности проектировщиков. Во-первых, все системы, кроме [6], абсолютно не прозрачны, т.е. пользователю трудно понять, почему система выдала тот или иной результат, и, следовательно, сложно наладить с ней более эффективное взаимодействие. Во-вторых, все системы плохо управляемы, т.е. не позволяют пользователю точнее выразить свою поисковую потребность в случае, когда система выдает неадекватные результаты.

а *б*

Рис. 5. Тестирование поиска деталей по внешнему контуру:
а – результаты [6]; *б* – результаты нашей системы GrSearch

Сравнение возможностей систем графического поиска чертежей

	CADFind [3]	Система компании Fujitsu [4]	ShapeLab [5]	Система [6]	SIBR [7]	Наша система GrSearch
Поиск чертежей	+	+	+	+	+	+
Поиск 3D моделей	+	+	+	–	–	путем проецирования на чертеж
Извлечение 3D объектов из чертежа	–	–	–	–	–	+
Виды деталей	любые	любые	любые	без внутр. элем-ов	пресс-формы	любые, при этом индивид. подход
Обработка разрезов	?	–	–	–	–	+
Эскизы от руки	–	+	+	?	+	+ если эскиз аккуратный
Доп. разметка запроса	–	–	–	– но метод позволяет	–	+

Окончание таблицы

	CADFind [3]	Система компании Fujitsu [4]	ShapeLab [5]	Система [6]	SIBR [7]	Наша система GrSearch
Подсвечивание совпавших элементов	–	Только обрамление	–	+	–	+
Поиск по фрагменту	–	+	–	– но метод позволяет	+	+
Быстродействие	высокое	среднее	высокое	среднее	высокое	низкое

Таким образом, наша система обладает несравнимо большим числом важных возможностей и потенциалом дальнейшей интеллектуализации, чем ее аналоги. В настоящее время система проходит предварительную апробацию на промышленном предприятии с целью выявления и устранения недостатков интерфейса задания запросов, интеграции в реальную информационную среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Kuchuganov, A.V.* Recursions in Image Analysis Problems. / A.V. Kuchuganov. // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2009. – Vol. 19, № 3. – P. 501-507.

2. *Кучуганов, А.В.* Графический поиск чертежей в хранилищах данных. / А.В. Кучуганов, Д.Р. Касимов. // Прикладная информатика. – 2012. – № 2. – С. 84-92.

3. *Barton, J.* Retrieving Designs from a sketch using an automated GT coding and classification system. / J. Barton, D. Love. // Production Planning and Control. – 2005. – Vol. 16, № 8. – P. 763-773.

4. *Liu, R.* Attributed Graph Matching Based Engineering Drawings Retrieval. / R. Liu, T. Baba, D. Masumoto. // Document Analysis Systems VI - Proc. of the 6th Int. Workshop. – 2004. – P. 378–388.

5. *Pu, J.* On visual similarity based 2D drawing retrieval. / Jiantao Pu, Karthik Ramani. // Computer-Aided Design. – 2006. – Vol. 38, № 3. – P. 249–259.

6. *Hou, S.* Structure-oriented Contour Representation and Matching for Engineering Shapes. / Suyu Hou, Karthik Ramani. // Computer-Aided Design. – 2008. – Vol. 40, № 1. – P. 94-108.

7. *Fonseca, M.J.* Content-Based Retrieval of Technical Drawings. / M.J. Fonseca, A. Ferreira, J.A. Jorge. // Int. Journal of Computer Applications in Technology. – 2005. – Vol. 23, № 2-3. – P. 86-100.

УДК 004.89

Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников

АЛГОРИТМ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ОБЛАСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ*

Волгоградский государственный технический университет

dkorobkin80@mail.ru, saf@vstu.ru, sk@vstu.ru

В данной работе тематическая фильтрация электронных документов основана на предварительном многоэтапном алгоритме кластеризации: на первом этапе для сокращения пространства признаков используются карты Кохонена (SOM), на втором этапе применяется алгоритм FOREL для автоматического определения числа кластеров. Определение тематики в соответствии с разработанным алгоритмом осуществляется по частотному портрету документа и весам нейронной сети. Осуществленная проверка эффективности работы созданной системы фильтрации показала высокую точность и полноту тематической фильтрации электронных документов.

Ключевые слова: тематическая фильтрация, кластерный анализ, SOM, FOREL.

D. M. Korobkin, S. A. Fomenkov, S. G. Kolesnikov

ALGORITHM OF PHYSICAL KNOWLEDGE CLUSTERING

Volgograd State Technical University

In this paper describes process of documents filtering based on multi-stage clustering algorithm: in the first stage decreasing of feature space dimension by Kohonen maps (SOM), the second step is applied FOREL algorithm for automatic determination of the number of clusters. Identifying of documents topic produced on the base of frequency portrait of documents and weights of neural network. Checking the efficiency of the filtering system has demonstrated high precision and recall.

Keywords: filtering, clustering, SOM, FOREL.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 13-01-00302 –а, 13-07-97032 р_поволжье-а)

Введение

Практика работы с большими объемами информации (массивами текстовых документов) показала необходимость [1] разнести источники информации по тематическим группам, чтобы сделать ее доступной для восприятия. Кластеризация – это автоматическое разбиение элементов некоторого множества документов на категории (кластеры) по принципу схожести. Фильтрация - разбиение множества документов на две категории: документы, удовлетворяющие заданному критерию, и документы, не удовлетворяющие критерию. Частным случаем фильтрации является задача тематической фильтрации - выявления документов, соответствующих заданной тематике, за счет отсева прочих документов. Для области физических знаний необходимо изначально выявить структуру массива документов, критерии разбиения документов, с помощью кластерного анализа это возможно без задания количества классов (тем). На начальном этапе производится кластерный анализ документов, затем строится тематический фильтр. Рассмотрим существующие методы кластерного анализа, представленные в таблице.

Сравнительный анализ алгоритмов фильтрации

Алгоритм	Вид метода	Инкрементность	Обучение	Матрица близости	Вычислительная сложность, где N – число документов	Устойчивость к «шуму»
STC	Нечисловой	+	–	–	O(k2*N), k-количество тематик	–
FOREL	Числовой	+	–	+	O(N*k), k – количество тематик	–
SOM	Числовой	+	+	+	1) $O(N^2*m)$ 2) O(N*m*log m) 3) $O(N^2*m)$, m – количество выходных нейронов	+
ART	Числовой	+	+	+	O(N*m*log N), m – кол-во выходных нейронов	–
LSA /LSI	Числовой	+	–	+	$O(N^2*x*k)$,где N=Ndocs+Nterms, k – размерность пространства факторов	+
PLSI	Числовой	–	–	+	$O(N^2*x*k)$, N=Ndocs+Nterms, k – размерность пространства факторов	+
CI	Числовой	–	–	+	обучемый - $O(N^2*k)$, необучаемый - O(N*log k), k-количество тематик	–

В результате обзора и анализа методов фильтрации было выявлено, что наиболее приемлемым решением является алгоритм SOM по причине наивысшей точности за счет использования нейросетевого подхода.

Можно использовать следующие модели представления электронных документов в пространстве признаков: n-граммная модель и модель терм-документ. В данной работе была выбрана модель терм-документ, которая позволяет в отличие от n-граммной модели учитывать морфологию и производить очистку от часто встречающихся слов («шума»).

Методика тематической фильтрации электронных источников

Методика тематической фильтрации [2,3] электронных документов приведена на рис. 1. Были сформулированы следующие требования к алгоритму: автоматическое определение числа кластеров; не более чем логлинейный рост времени работы с увеличением количества текстов; минимальная настройка со стороны пользователя.

На основании требований к алгоритму был разработан многоэтапный алгоритм кластеризации: на первом этапе для сокращения пространства признаков используются карты Кохонена (SOM), на втором этапе применяется алгоритм FOREL для автоматического определения числа кластеров.

Методика представления документов в пространстве признаков

TF-IDF (*TF* — term frequency, *IDF* — inverse document frequency) – статистическая мера, используемая для оценки важности слова в кон-

тексте документа, являющегося частью коллекции документов. Вес некоторого слова пропорционален количеству употребления этого слова в документе, и обратно пропорционален частоте употребления слова в других документах коллекции.

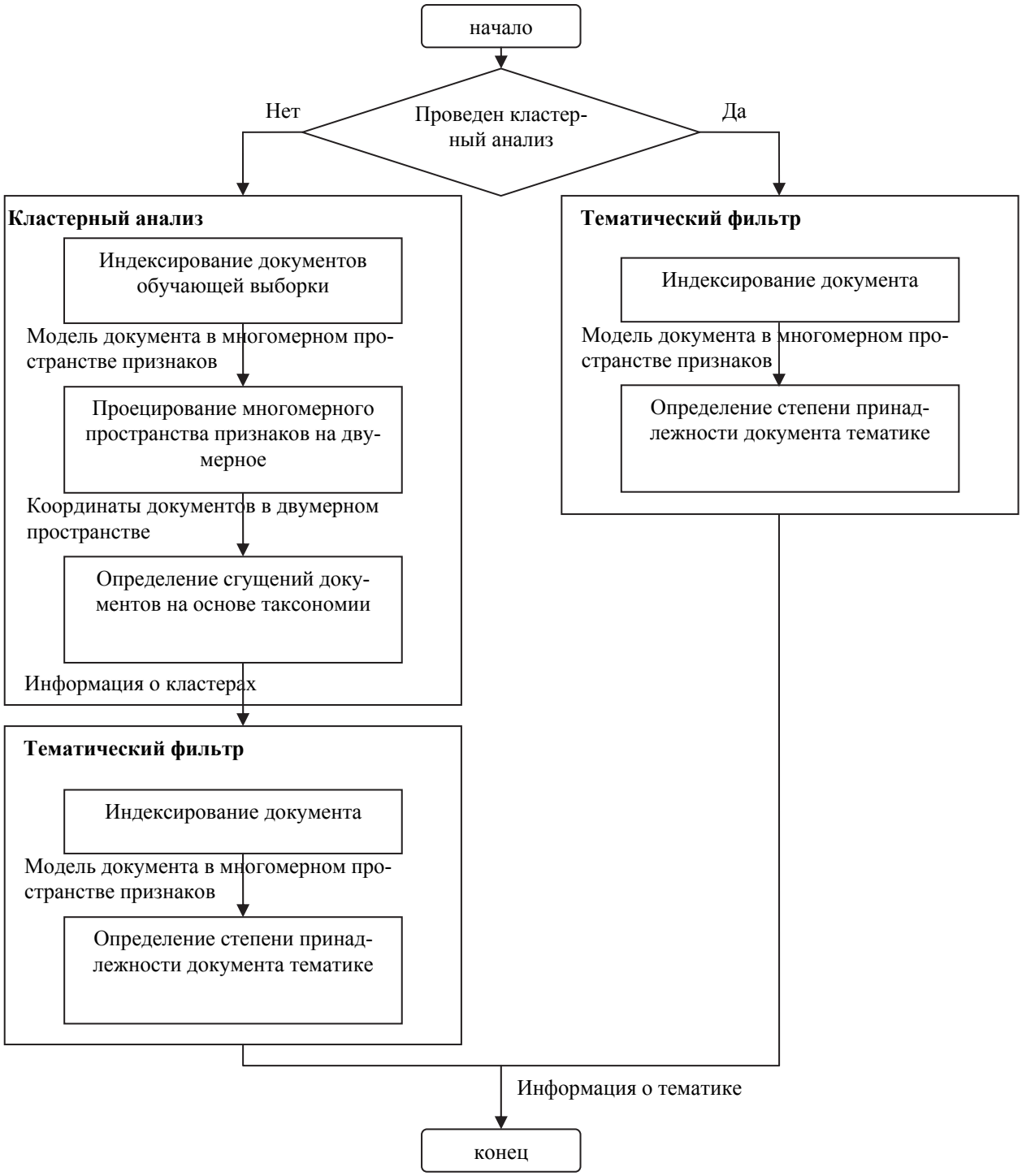


Рис. 1. Методика тематической фильтрации документов

Для представления документов в пространстве признаков в качестве центральной процедуры будем использовать модель термин-документ [4].

Для каждого документа коллекции была произведена следующая предварительная обработка: стемминг (получение словоформ); удаление стоповых слов (цифры, предлоги, некоторые наречия, союзы, одиночные буквы, а также слова, не несущие смысловой нагрузки).

Для понижения значимости словоформ, которые встречаются почти во всех документах, используем инверсную частоту термина *IDF* (inverse document frequency) (1). Значение этого параметра тем меньше, чем чаще словоформа встречается в документах базы данных. Таким образом, для словоформ, которые встречаются в большом числе документов *IDF* будет близок к нулю (если словоформа встречается во всех документах *IDF* равен нулю), что помогает выделить важные словоформы.

$$IDF = \log \frac{|D|}{|D_t|} \qquad (1)$$

$|D|$- число всех документов, $|D_t|$ - число документов, содержащих некоторую словоформу *t*.

Параметр *TF* (term frequency) (2) – это отношение числа раз, которое некоторая словоформа *t* встретилась в документе *d*, к длине документа. Нормализация длиной документа нужна для того, чтобы уравнять в правах короткие и длинные документы.

$$TF = \frac{n_i}{\sum_k n_k} \qquad (2)$$

n_i - число вхождений словоформы в документ, $\sum_k n_k$ – общее число словоформ в данном документе.

В коэффициент *TF*IDF TF* играет роль повышающего множителя, *IDF* – понижающего. Тогда весовыми параметрами векторной модели документа можно принять коэффициенты *TF*IDF* входящих в него словоформ.

При использовании данного представления документов в пространстве признаков семантика документа сводится к лексической семантике входящих в него терминов. Таким образом, ключевыми будем считать словоформы, набравшие наибольший вес, то есть словоформы с наибольшим значением коэффициента *TF*IDF*. Для отсечения ключевых словоформ от тех, у которых коэффициент *TF*IDF* незначителен, вычисляем точку игнорирования, которая равна среднему значению частоты входящих в документ слов. Точка игнорирования рассчитывается для каждого документа из рассматриваемой выборки. В результате анализа составляется частотный портрет каждого документа, состоящий из коэффициентов *TF*IDF*.

Разработанная методика индексирования текстовых документов представлена на рис. 2.

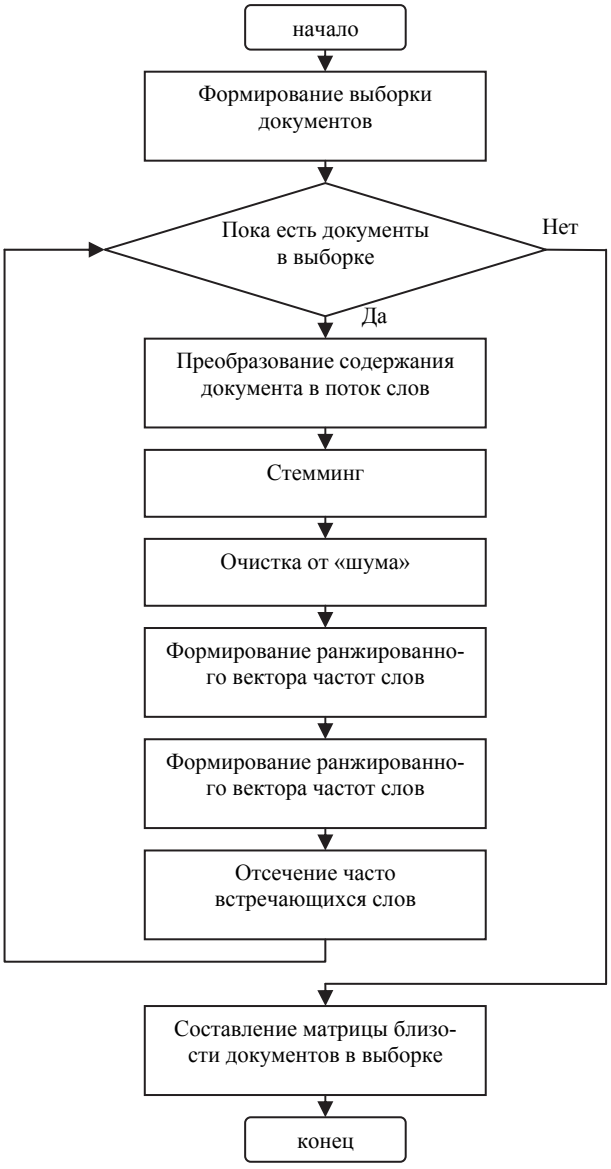


Рис. 2. Методика индексирования текстовых документов

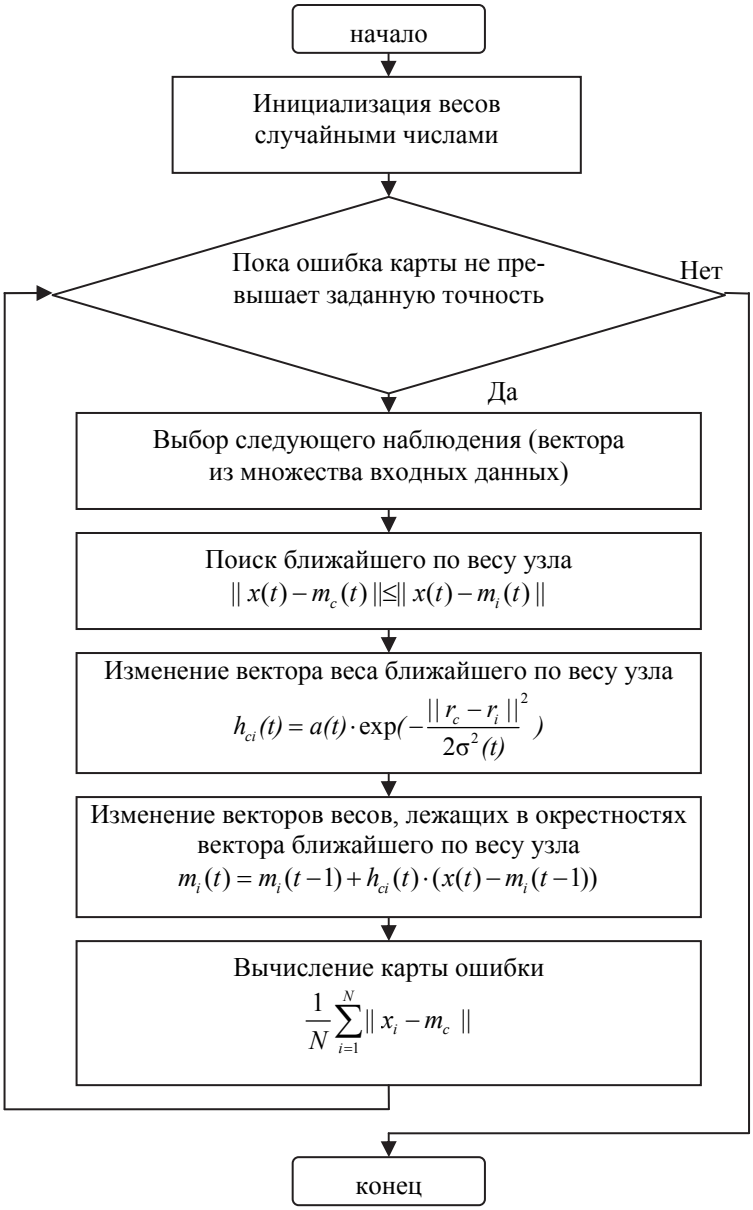
Преимущества разработанной модели заключаются в том, что в ней содержится несколько этапов предварительной обработки, что делает поиск ключевых слов более точным. Дополнение данного алгоритма стеммингом потока слов позволяет существенно сократить количество терминов.

Первый этап кластерного анализа электронных документов

На первом этапе кластерного анализа будем применять разновидность алгоритма нейронных сетей Кохонена - карты SOM (Self-Organizing Map).

На вход данного алгоритма подаются вектора матрицы *TF*IDF* для каждого документа. SOM (рис. 3) подразумевает использование упорядоченной структуры нейронов. Была использована двумерная сетка, при этом каждый

нейрон представляет собой *n*-мерный вектор-столбец, где *n* определяется размерностью исходного пространства (размерностью входных векторов). Нейроны располагаются в узлах двумерной сетки с прямоугольными ячейками. При этом нейроны также взаимодействуют друг с другом. Величина этого взаимодействия определяется расстоянием между нейронами на карте.



t –	номер итерации
x(t)	произвольное наблюдения (вектор из множества входных данных)
$M_c(t)$	ближайший по весу узел
$m_i(t)$	вектор веса узла $M_i(t)$
$h_{ci}(t)$	определяет «меру соседства» узлов $M_i(t)$ и $M_c(t)$ и изменение векторов веса
$\alpha(t)$	обучающий сомножитель, монотонно убывающий с каждой последующей итерацией
r_i, r_c	координаты узлов $M_i(t)$ и $M_c(t)$ на карте
$\sigma(t)$	сомножитель, уменьшающий количество соседей с итерациями, монотонно убывает
N	количество элементов набора входных данных

Рис. 3. Алгоритм SOM

Алгоритм, основанный на картах Кохонена, позволяет спроецировать многомерное пространство признаков на двумерное, а также представить результат в виде координат документов на двумерной плоскости.

Второй этап кластерного анализа электронных документов

Группируя объекты, необходимо руководствоваться некоторым критерием F (3). Алгоритм должен допускать только такую группировку, которая удовлетворяет критерию F. Иными словами, следует конкретизировать понятие сходства, «схожести» объектов.

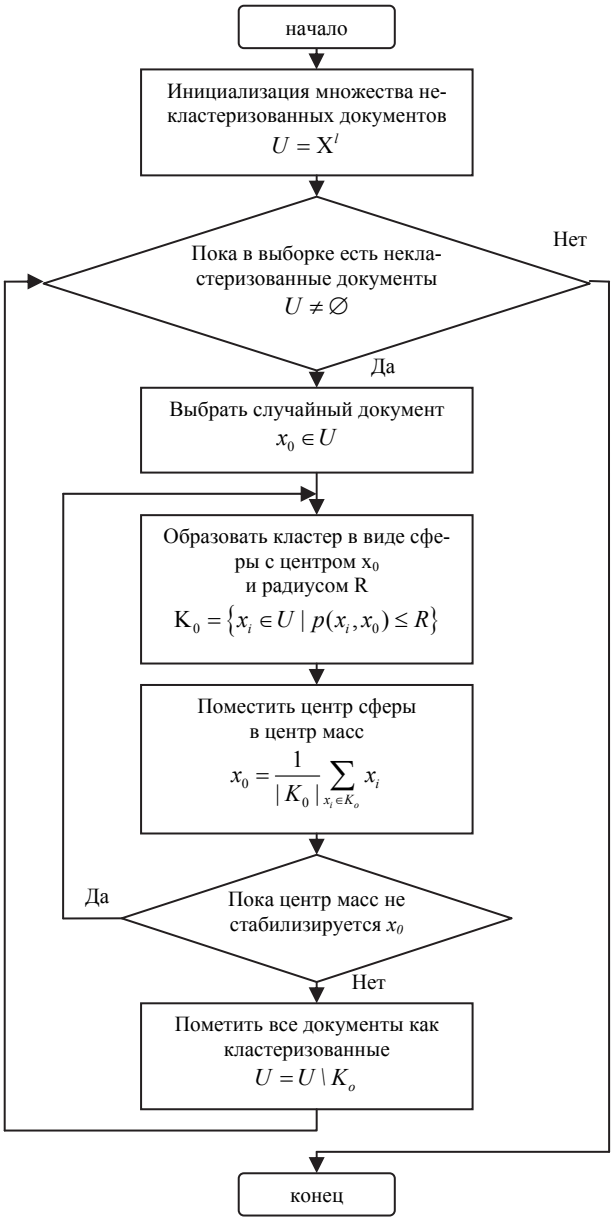


Рис. 4. Алгоритм FOREL

Если считать, что признаки объектов заданы в сильных шкалах, то можно работать в метрических пространствах. В частности, можно в евклидовом многомерном пространстве признаков ввести расстояние между точками.

Пусть $$F = \sum_{i}^{k} p^i(C^i, a_i) \qquad (3)$$

$C^i = (x_1^i, x_2^i, ...x_i^i, ...x_n^i)$ - координаты центра тяжести i-го таксона, $p_i^j(C^j, a_i)$ - расстояние между центром тяжести и произвольной точкой a_i, $p^j = \sum_{i=1}^{m_i} p_i^j(C^j, a_i)$ - сумма таких расстояний j-го таксона.

Смысл критерия похожести на центр состоит в том, чтобы найти такое разбиение m объектов на k таксонов, при котором F минимальна. На втором этапе кластерного анализа будем применять алгоритм FOREL (рис. 4). В результате данного этапа кластеризации получаются кластеры с координатами их центров (центроиды).

Данные, полученные на этом этапе вместе с соответствующими для каждого центроида весами, необходимо сохранять для дальнейшего использования в алгоритмах фильтрации электронных документов.

Тематическая фильтрация электронных документов

На этапе тематической фильтрации также составляем семантическое описание документа, а именно – частотный портрет документа.

Далее определяется принадлежность документа одной из тематик (кластеров), выделенных на этапе кластеризации электронных документов. Данную принадлежность можно определить по теореме косинусов, где векторами являются n-мерные векторы весов нейронной сети центроидов кластеров и n-мерный вектор частотного портрета документа, для которого необходимо определить тематику. В результате определяем тематику (кластер) документа по наибольшему значению косинуса между векторами. Определение тематики в соответствии с разработанным алгоритмом по частотному портрету и весам нейронной сети показано в табл. 2.

Таблица 2

Определение тематики документа

Документ (частотный портрет)	Косинус угла	Тематика (веса обученной нейронной сети)	Номер кластера
0.85x0.1x0.02x0.93x….	0.43	0.15x0.8x0.02x0.73x….	1
	0.47	0.5x0.1x0.02x0.95x…	2
	0.3	0.01 0.7x0.8x0.93x….	3
	0.7	0.9x0.1x0.02x0.95x….	4

Результаты

Эффективность системы проверялась на специально созданном тестовом массиве документов:

• 60 документов, не принадлежащих тематике «Физика»

• 20 документов, имеющих в своем составе как материал по тематике «Физика», так и по другим дисциплинам (частично относящимся к тематике «Физика»);

• 100 документов, принадлежащих тематике «Физика».

Существует много способов оценить насколько хорошо документы, найденные ИПС, соответствуют запросу. К сожалению, понятие степени соответствия запроса, или другими словами релевантности (степени соответствия запроса и найденного), является субъективным понятием, а степень соответствия зависит от конкретного человека, оценивающего результаты выполнения запроса.

1) Точность (Precision) (4) - отношение числа релевантных документов, найденных ИПС, к общему числу документов найденных ИПС:

$$\text{Precision} = \frac{|\text{Rel} \cap \text{Retr}|}{|\text{Retr}|}, \qquad (4)$$

где Rel — это множество релевантных документов в массиве, а Retr – множество документов, найденных ИПС.

2) Полнота (Recall) (5) - отношение числа найденных релевантных документов к общему числу релевантных документов в массиве:

$$\text{Recall} = \frac{|\text{Rel} \cap \text{Retr}|}{|\text{Rel}|}, \qquad (5)$$

3) Выпадение (Fall-out) (6) характеризует вероятность нахождения нерелевантного ресурса и определяется как отношение числа найденных нерелевантных документов к общему числу нерелевантных документов в массиве:

$$\text{Fall} - \text{out} = \frac{|\text{NRel} \cap \text{Retr}|}{|\text{NRel}|}, \qquad (6)$$

где NRel – это множество нерелевантных документов в массиве.

4) F-мера (F-measure) (7) объединяет точность и полноту поиска в одной усредненной величине. F-мера определяется как взвешенное гармоническое среднее точности P и полноты R:

$$F = \frac{1}{\alpha \frac{1}{P} + (1-\alpha)\frac{1}{R}}, \alpha \in [0,1] \qquad (7)$$

С точки зрения последовательной фильтрации по тематике «Физика» и на наличие в тексте электронных документов по учебному курсу имеем количество релевантных документов в массиве документов Rel = 100, количество нерелевантных документов NRel = 80.

В результате тематической фильтрации получаем следующие результаты: (D^{rel}_{retr} и D^{nrel}_{retr} – количество прошедших через фильтр соответственно релевантных и нерелевантных документов, D_{retr} - количество документов, найденных системой, точность $\text{Precision} = \frac{|D^{rel} \cap D_{retr}|}{|D_{retr}|} = \frac{|D^{rel}_{retr}|}{|D^{rel}_{retr} + D^{nrel}_{retr}|}$, полнота $\text{Recall} = \frac{|D^{rel} \cap D_{retr}|}{|D^{rel}|} = \frac{|D^{rel}_{retr}|}{|D^{rel}|}$, вероятность отбора нерелевантного ресурса $\text{Fall} - \text{out} = \frac{|D^{nrel} \cap D_{retr}|}{|D^{nrel}|} = \frac{|D^{nrel}_{retr}|}{|D_{nrel}|}$ и сбалансированное взвешенное гармоническое среднее точности и полноты $F - measure = \frac{\text{Pr}ecision * \text{Re}call}{\text{Pr}ecision + \text{Re}call}$ (табл. 3).

Таблица 3

Результаты работы тематического фильтра

Показатели	Значение (итерация 1)	Значение (итерация 2)	Значение (итерация 3)
D^{rel}_{retr}	97	95	96
D^{nrel}_{retr}	3	4	3
D_{retr}	100	99	99
Precision	0,97	0,96	0,97
Recall	0,99	0,98	0,98
Fall-out	0,05	0,06	0,05
F-measure	0,49	0,475	0,49

Выводы

В данной работе была показана разработанная методика фильтрации

[5, 6] электронных документов, основанная на предварительном многоэтапном алгоритме кластеризации: на первом этапе для сокращения пространства признаков используются карты Кохонена (SOM), на втором этапе применяется алгоритм FOREL для автоматического определения числа кластеров. Осуществленная проверка эффективности работы созданной методики фильтрации [7, 8] показала высокую точность и полноту тематической фильтрации электронных документов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Коробкин, Д.М.* Методика выделения структурированной физической информации в виде физических эффектов из текста / Коробкин Д.М., Фоменков С.А. // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 10. – С. 35–39.

2. *Фоменков С.А.* Методика модификации информационного обеспечения базы данных физических эффектов / Фоменков С.А., Колесников С.Г., Коробкин Д.М. // Известия Волгоградского государственного технического университета, 2012. – Т. 10. № 14. – С. 166–170.

3. *Коробкин Д.М., Чекашкина К.С., Фоменков С.А.* Методика извлечения описаний физических эффектов. // В межвузовском сб. научных статей «Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып.16». - Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2013, №8(111), с. 152-154.

4. *Dmitriy Mikhaylovich Korobkin, Sergey Alexeevich Fomenkov, Sergey Grigoryevich Kolesnikov and Yulia Alexandrovna Orlova.* A Multi-Stage Algorithm for Text Documents Filtering Based on Physical Knowledge // World Applied Sciences Journal 24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society), 2013, p. 91-97.

5. *Попов М.Ю.* Предметно-ориентированный анализ текстовых документов на примере системы поиска описаний физических эффектов / Попов М.Ю., Коробкин Д.М., Фоменков С.А. // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2005. – № 6. – С. 20–24.

6. *Крапивина Н.В., Коробкин Д.М.. Фоменков С.А.,* Автоматизация фильтрации электронных первоисточников по признаку знаний о нанотехнологиях и выявление описаний нанотехнологий. //В межвузовском сб. научных статей «Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып.14». - Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2012, №10(97), с. 161-166.

7. *Dmitriy Mikhaylovich Korobkin, Sergey Alekseevich Fomenkov, Sergey Grigoryevich Kolesnikov and Yuriy Fedorovich Voronin.* System of Physical Effects Extraction from Natural Language Text in the Internet //World Applied Sciences Journal 24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society), 2013, p. 55-61.

8. *Коробкин Д.М., Фоменков С.А.* Программный комплекс поддержки процесса формирования информационного обеспечения фонда физических эффектов. //Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Информатика. Телекоммуникации. Управление. - СПб: СПбГПУ, 2009, №6, с. 306-310.

УДК 621.865.8 (004.896)

А. В. Петрухин, Т. В. Уварова

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Волгоградский государственный технический университет

tatyana_cad@mail.ru

В данной статье рассматриваются вопросы автоматизации проектирования захватных устройств промышленных роботов. Предлагается подход, который, в отличие от существующих, позволит описывать и учитывать при проектировании все необходимые требования к захватным устройствам различных типов, характерные для каждой конкретной производственной задачи, что повысит гибкость САПР захватных устройств и расширит сферу ее применения.

Ключевые слова: автоматизация проектирования, система автоматизированного проектирования (САПР), захватное устройство, промышленный робот.

A. V. Petrukhin, T. V. Uvarova

DESIGN AUTOMATION OF INDUSTRIAL ROBOT GRIPPERS

Volgograd State Technical University

In this article, we discuss questions of design automation of industrial robot gripping devices. Offer the approach, which, unlike the existing ones, will describe and take into account at designing all the necessary requirements for the different types of gripping devices specific to each particular production task, which will increase the flexibility of CAD of gripping devices and expand the scope of its application.

Keywords: design automation, computer-aided design system (CAD), gripper, gripping device, industrial robot.

На сегодняшний день при большом разнообразии производимых в промышленности деталей и узлов, существует необходимость приспосабливать применяемые промышленные роботы под новые требования, что часто связано с необходимостью разработки специальных рабочих органов, в том числе, захватных устройств (ЗУ). Поэтому, хотя число различных конструкций ЗУ достаточно велико, при установке промышленного робота по месту эксплуатации часто возникает необходимость спроектировать новое ЗУ, с учетом требований на данном производстве. Необходимость применения большого количества ЗУ обусловлена большим разнообразием форм захватываемых предметов, их размеров и масс, наличием дополнительных требований к захватыванию и удерживанию предметов, чувствительных к механическим воздействиям, и множеством других факторов. Но задача проектирования ЗУ, в зависимости от предъявляемых к ним требований, остается открытой и достаточно трудоемкой.

Таким образом, в настоящее время задача автоматизации проектирования ЗУ промышленных роботов является достаточно актуальной, и в промышленности широкое внедрение получили различные системы автоматизации проектирования (САПР), и уже достаточно долгое время ведутся работы по созданию САПР захватных устройств среди зарубежных и отечественных разработчиков [1]. Но они, как правило, не обладают достаточной степенью универсальности, и могут быть применены при проектировании только некоторых типов ЗУ. Имеется ряд работ [2–5], связанных с автоматизацией концептуального проектирования технических объектов, которые также могут быть применены при автоматизации начальных этапов проектирования ЗУ робототехнических комплексов. В связи с этим, для решения задачи автоматизации начальных этапов проектирования ЗУ промышленных роботов авторами предлагается структура БД ЗУ, которая позволит наиболее полно описывать ЗУ различных типов, как с учетом заданных параметров захватываемого объекта, так и самого ЗУ.

Задача автоматизации начальных этапов проектирования ЗУ промышленных роботов решалась авторами в нескольких направлениях: разработка БД ЗУ с гибкой структурой, и непосредственно автоматизация некоторых проектных процедур, связанных с решением задачи структурного синтеза ЗУ. В данной статье кратко рассматриваются оба вопроса.

По результатам исследования предметной области было выявлено, что при проектировании ЗУ определяется часть техпроцесса, в котором будет участвовать проектируемое ЗУ, и определяются требования к ЗУ. При этом необходимо учитывать множество факторов, основными из которых являются свойства захватываемого объекта. Основываясь на общепринятых классификациях ЗУ промышленных роботов, и с учетом основных параметров ЗУ согласно ГОСТу 26063–84, была разработана структура БД, которая позволяет учитывать взаимосвязь параметров захватываемого объекта и проектируемого ЗУ. Например, на основе расчета допустимой погрешности базирования захватываемого предмета можно осуществлять выбор кинематической схемы ЗУ. Ниже приведены некоторые из основных критериев, которые были выделены для описания ЗУ промышленных роботов.

Основные критерии для описания ЗУ промышленных роботов

Наименование критерия	**V** – является основным параметром ЗУ согласно ГОСТ 26063–84.
1. Сила захватывания Fz (Н)	**V**
2. Время захватывания/отпускания tz (с.)	**V**
3. Характерные размеры детали (min, max)	**V**
4. Габаритные размеры ЗУ (мм)	**V**
5. Масса ЗУ mz (кг)	**V**
6. Форма захватываемого предмета	
7. Чувствительность захватываемого предмета к механическим воздействиям	
8. Материал захватываемого предмета	
9. Шероховатость (чистота) поверхности Rz захватываемого предмета	
10. Показатели надежности ЗУ: установленная безотказная наработка (ч.)	**V**
11. Требуемая точность позиционирования захватываемого предмета	

Окончание таблицы

Наименование критерия	**V** – является основным параметром ЗУ согласно ГОСТ 26063–84.
12. Количество захватываемых предметов	
13. Свойства симметрии захватываемого предмета	
14. Ориентация предмета в момент захватывания (для захватывания неориентированно расположенного предмета из навала необходимо использовать адаптивное ЗУ)	
15. Требуемые условия эксплуатации ЗУ (диапазон температуры, относительная влажность, запыленность помещения и т.п.)	**V**
16. Вид привода ЗУ	**V**
17. Способ крепления ЗУ к руке робота	
18. Необходимость наличия дополнительных устройств для ориентирующих перемещений или для выполнения технологических операций	
19. Способ базирования захватываемого предмета	
20. Допустимая погрешность базирования захватываемого предмета	

Различные типы ЗУ описываются большим количеством разнообразных характеристик, которые необходимо учитывать при разработке БД ЗУ. Причем, может возникнуть ситуация, когда появятся ЗУ с новыми характерными особенностями, которые невозможно будет описать при помощи жестко заданной структуры БД с заранее заданным набором параметров. В связи с этим, авторами предлагается БД ЗУ с гибкой структурой, что обеспечит возможность расширять описание ЗУ в БД при появлении у них новых характеристик. Такой подход в разработке БД ЗУ обеспечит адекватное описание любых ЗУ с любым набором характеристик.

Задача структурного синтеза проектируемых объектов относится к наиболее трудно формализуемой. Существует ряд общих подходов к постановке этих задач, однако практическая реализация большинства из них неочевидна. Поэтому структурный синтез, как правило, выполняют в интерактивном режиме при решающей роли инженера-разработчика. В разрабатываемой САПР ЗУ целесообразно применять средства синтеза проектных решений, позволяющие решать данную задачу в интерактивном режиме. Для этого было решено разра-ботать и использовать БД типовых проектных решений для ЗУ, которая позволит на первоначальном этапе проектирования выбрать одну из типовых конструкций ЗУ и взять ее за основу для последующих модификаций, согласно условиям задачи.

Структурный синтез ЗУ заключается в преобразовании описания проектируемого ЗУ: исходное описание содержит информацию о требованиях к свойствам ЗУ, об условиях его функционирования, ограничениях на элементный состав и прочее, а результирующее описание должно содержать сведения о структуре ЗУ, т.е. о составе элементов и способах их соединения и взаимодействия, представленное в виде кинематической схемы ЗУ и дополнительного описания.

Обозначим множество альтернатив проектного решения для ЗУ как A. Каждой альтернативе в САПР ЗУ соответствует поисковый образ, состоящий из ключевых характеристик проектируемого ЗУ.

Поскольку явное перечисление всех альтернатив при представлении множества альтернатив возможно лишь при малой мощности A и заранее известном наборе альтернатив, поэтому будем использовать описание A в виде набора правил P синтеза проектных решений из ограниченного набора элементов E. Обозначим A = <P,E>, и процесс синтеза проектных решений ЗУ состоит из следующих этапов:

1) формирование альтернативы Ax путем выбора из БД типовых проектных решений для ЗУ по сформированному поисковому запросу или генерация из E в соответствии с правилами P;

2) оценка альтернативы Ax по критериям, заданным пользователем;

3) принятие пользователем решения относительно перехода к следующей альтернативе или прекращения поиска.

Таким образом, для решения задачи структурного синтеза ЗУ на вход САПР ЗУ должны подаваться исходные требования для проектируемого ЗУ, которые вносятся в соответствующие поля поискового образа. По результатам синтеза должна выдаваться информация, включающая базовую структурную (кинематиче-

скую) схему ЗУ и рекомендации по ее модификации для проектируемого ЗУ.

В заключение отметим, что предлагаемый авторами подход, включающий применение БД ЗУ с гибкой структурой и предложенный вариант решения задачи структурного синтеза ЗУ, в отличие от существующих САПР ЗУ, позволит описывать и учитывать при проектировании все необходимые требования к ЗУ различных типов, характерные для каждой конкретной производственной задачи, что повысит гибкость САПР ЗУ и расширит сферу ее применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Уварова*, Т.В. Обзор средств автоматизации проектирования захватных устройств промышленных роботов / Т.В. Уварова // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012». – Выпуск 4. Том 14. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – с. 69–71.

2. *Петрухин* А.В. Автоматизация концептуального проектирования технических объектов на основе комплексного использования формальных и неформальных проектных процедур. - в кн. Концептуальное проектирование. Развитие и совершенствование методов // Коллективная монография под редакцией д.т.н., профессора Камаева В.А. - Москва, «Машиностроение-1» 2005. 345 с., илл.

3. Фоменков С.А., *Петрухин* А.В., *Колесников* С.Г. Автоматизация процедур формирования информационного обеспечения для систем концептуального проектирования, использующих структурированные физические знания в форме физических эффектов. // Качество и CALS-технологии. Науч. журнал. Раздел №8, январь 2005.

4. *Фоменков* С.А., *Давыдов* Д.А., *Петрухин* А.В. Информационный поиск в области физических знаний с применением электронного справочника по физическим эффектам. // Качество и CALS- технологии. Науч. журнал. Раздел №8, январь 2005.

5. *Петрухин* А.В. Построение и использование специализированных тезаурусов при концептуальном проектировании технических систем // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. №2(17) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. (Сер. Концептуальное проектирование в образовании, технике и технологии).

УДК 004.89

С. А. Фоменков, С. Г. Колесников, Д. М. Коробкин

ФОРМИРОВАНИЕ И СТРУКТУРА БАЗ ДАННЫХ ПО ФИЗИЧЕСКИМ ЭФФЕКТАМ*

Волгоградский государственный технический университет

saf@vstu.ru, sk@vstu.ru, dkorobkin80@mail.ru

Рассматривается информационное наполнение баз данных, сформированных на основе предложенных моделей описания физических эффектов. Приведено количественное распределение эффектов по основным разделам физических знаний в инвариантном к предметным областям техники массиве и в ряде объектно-ориентированные фондов. Дана оценка качества информационного наполнения баз данных по физическим эффектам. Представлена общая методика модификации баз данных по физическим эффектам, предназначенная для адаптации информационного обеспечения к изменяющимся потребностям пользователей.

Ключевые слова: модель, физический эффект, информационное обеспечение, база данных.

S. A. Fomenkov, S. G. Kolesnikov, D. M. Korobkin

THE FORMATION AND STRUCTURE OF DATABASES ON PHYSICAL EFFECTS

Volgograd State Technical University

Information filling of the databases created on the basis of offered models of the description of physical effects is considered. Quantitative distribution of effects according to the main sections of physical knowledge in invariant is given to subject domains of equipment the massif and in a row object-oriented funds. The assessment of quality of information filling of databases on physical effects is given. The general technique of modification of databases on the physical effects, intended for adaptation of information support to changing needs of users is presented.

Keywords: model, physical effect, information support, database.

Эффективность применения баз данных по физическим эффектам (ФЭ) при решении практических задач в области поискового проектирования, изобретательства, научной деятельности и обучения зависит от двух факторов: структуры представления физических знаний и конкретного информационного наполнения. Очевидно, что с ростом количества ФЭ в базе данных и расширением степени охвата различных разделов физических знаний ценность базы данных возрастает.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 13-01-00302)

На основе предложенных моделей описания ФЭ [1-4] на кафедре САПР и ПК ВолгГТУ сформирован уникальный информационный массив ФЭ. Ядром массива является инвариантная к предметным областям техники и разделам физики совокупность ФЭ, получившая условное название «глобальная база данных по ФЭ». Глобальная база данных содержит 1067 описаний ФЭ и структурно состоит из следующих частей, отличающихся способами формирования.

1). Учебный фонд - 211 ФЭ. В фонд включены ФЭ, соответствующие, в основном, программе курса общей физики в высших технических учебных заведениях.

2). Основной фонд - 589 ФЭ. В фонд включены ФЭ, дополняющие курс общей физики и соответствующие специальным разделам физики. Наиболее крупными разделами основного фонда являются следующие:

• физика металлов (металловедение) - 74 ФЭ;

• физика полупроводников - 57 ФЭ;

• физика твердых диэлектриков - 45 ФЭ (в том числе, физика сегнетоэлектриков, сегнетополупроводников - 22 ФЭ);

• оптика (генерация электромагнитного излучения, волновая оптика, квантовая оптика, оптические свойства вещества) - 85 ФЭ (в том числе, люминесценция - 15 ФЭ, лазеры - 14 ФЭ);

• физика жидкости - 99 ФЭ (в том числе, жидкие кристаллы - 14 ФЭ, жидкие металлы и расплавы - 19 ФЭ, квантовые жидкости - 5 ФЭ);

• акустика (упругие колебания и акустические волны, акустические явления во внешние полях, воздействие звука и ультразвука на вещество, акустические свойства вещества) - 29 ФЭ;

• сверхпроводимость - 37 ФЭ (в том числе, высокотемпературная сверхпроводимость - 4 ФЭ);

• физика плазмы - 33 ФЭ;

• физика газов - 14 ФЭ;

• магнитоупорядоченное состояние вещества (ферромагнетики, ферримагнетики, антиферромагнетики) - 26 ФЭ;

• кинетические (диффузия, ионный перенос, перекрестные эффекты, перенос во внешних полях) и контактные явления в твердых телах - 52 ФЭ;

• эмиссия (электронная, ионная) - 14 ФЭ;

• резонансные явления - 14 ФЭ.

3). Специальный фонд ФЭ, составленный на основе информации, содержащейся в заявках на открытия по физике - 120 ФЭ. Фонд содержит следующие разделы:

• физика металлов (металловедение) - 20 ФЭ;

• физика диэлектриков - 10 ФЭ;

• кинетические и контактные явления в веществе - 27 ФЭ;

• эмиссия (электронная, ионная) - 5 ФЭ;

• оптика - 19 ФЭ;

• магнитные свойства твердого тела (ферромагнетики, парамагнетики) - 5 ФЭ;

• физика полупроводников - 10 ФЭ;

• физика полимерных материалов - 8 ФЭ;

• тепловые свойства твердого тела - 3 ФЭ;

• электрические свойства твердого тела - 3 ФЭ;

• сыпучие среды (слабоструктурированные системы), горные породы - 6 ФЭ;

• сверхпроводимость - 2 ФЭ;

• физика жидкостей - 8 ФЭ.

4). Специальный фонд ФЭ, составленный на основе информации, содержащейся в новых публикациях (2012 - 1995 годы) в физических журналах - 147 ФЭ. Фонд содержит следующие разделы:

• оптика (генерация электромагнитного излучения, волновая оптика, квантовая оптика, оптические свойства вещества, взаимодействие электромагнитного излучения с веществом) - 23 ФЭ;

• методы получения и свойства нанокристаллических и субмикрокристаллических материалов - 41 ФЭ;

• фуллерены и фуллеренсодержащие растворы - 4 ФЭ;

• физика газов - 8 ФЭ;

• физика жидкости и жидких кристаллов - 8 ФЭ;

• магнитоупорядоченное состояние вещества (ферромагнетики, ферримагнетики, антиферромагнетики) - 15 ФЭ;

• механические свойства твердого тела - 13 ФЭ;

• акустика - 11 ФЭ;

• электронная эмиссия и резонансные явления - 7 ФЭ;

• фазовые переходы и поверхностные свойства твердого тела - 17 ФЭ.

Значимость глобальной базы данных по ФЭ определяется тем, что за счет инвариантности информационного наполнения достигается полнота охвата различных областей физических знаний (универсальность). Данное обстоятельство является важным фактором для расширения круга решаемых задач, а также расша-

тывания стереотипов и снятия «информационных барьеров» при решении задач (путем применения новых ФЭ или нетрадиционного применения известных ФЭ). Глобальная база данных по ФЭ служит также «питательной средой» для создания узкоспециализированных баз данных, ориентированных на решение задач в конкретной предметной области.

В качестве дополнения к глобальной базе данных по ФЭ служат объектно-ориентированные фонды ФЭ (локальные базы данных по ФЭ). Нами были созданы три локальные базы данных по ФЭ.

В рамках совместной работы с НПО «Информ-система» (г. Москва) сформирован объектно-ориентированный фонд ФЭ «Разрушение и управление свойствами горных пород» - 155 ФЭ. Фонд содержит следующие разделы:

• способы разрушения горных пород - 49 ФЭ;

• физические свойства горных пород - 43 ФЭ, в том числе, механические свойства - 14 ФЭ, тепловые свойства - 10 ФЭ, электромагнитные свойства - 19 ФЭ;

• управление свойствами горных пород - 27 ФЭ;

• управление горным давлением (предупреждение горных ударов, разгрузка от напряжений, упрочнение пород) - 36 ФЭ.

Объектно-ориентированный фонд ФЭ «Алмаз в электронной технике» состоит из 39 ФЭ. Фонд содержит следующие разделы:

• физические свойства алмаза, влияние внешних воздействий - 22 ФЭ. Рассмотрены наиболее важные свойства природных и синтетических кристаллов алмаза, алмазной керамики и эпитаксиальных алмазоподобных пленок как материала электронной техники, их изменение при различных воздействиях (нагревание, изменение температуры отжига, осаждения, электронная и ионная бомбардировка, механические напряжения, переменное электрическое поле, ультрафиолетовое, рентгеновское, гамма-излучения, мощное лазерное излучение). Описаны технологии целенаправленного изменения свойств алмаза - ионная имплантация, отжиг, радиационное наведение дефектов;

• элементы и дискретные приборы на основе алмаза - 11 ФЭ (терморезисторы, болометры, детекторы и дозиметры ионизирующих излучений, теплоотводы, оптические переключатели и коммутаторы и другие);

• алмаз как рабочее вещество полупроводниковых приборов - 6 ФЭ (диоды Шоттки, биполярный транзистор, точечно-контактный транзистор, полевой транзистор, СВЧ-транзистор с проницаемой базой, лазер с перестраиваемой частотой в видимой части спектра).

Объектно-ориентированный фонд ФЭ «Получение и свойства аморфных материалов» состоит из 67 ФЭ. Фонд содержит следующие разделы:

• получение аморфных материалов - 10 ФЭ;

• механические свойства аморфных материалов - 11 ФЭ;

• магнитные свойства аморфных материалов - 21 ФЭ;

• термодинамические свойства аморфных материалов - 4 ФЭ;

• оптические и электрические свойства аморфных материалов - 6 ФЭ;

• изменения свойств при фазовых превращениях - 15 ФЭ.

Списки эффектов большинства вышеупомянутых баз данных приведены в [1].

Формирование и заполнение информацией баз данных - достаточно сложный и трудоемкий процесс, технико-экономические показатели которого сильно зависят от структуры, состава, объема, связности и других характеристик исходной информации. Обобщенные характеристики подобных работ пока отсутствуют. Произведем нестрогую оценку качества информационного наполнения глобальной БД ФЭ в соответствии с функциональными показателями, предложенными в [5,6]. Данные показатели включают:

• полноту накопленных описаний объектов (K_1) - относительное число объектов или документов, имеющихся в БД, к общему числу объектов по данной тематике или по отношению к числу объектов в аналогичных БД по той же тематике;

• достоверность (K_2) - степень соответствия данных об объектах в БД реальным объектам вне ЭВМ в данный момент времени, определяющаяся изменениями самих объектов, некорректностями записей об их состоянии или некорректностью расчетов их характеристик;

• актуальность данных (K_3) - относительное число морально устаревших данных об объектах в БД к общему числу накопленных и обрабатываемых данных;

• идентичность данных (K_4) - относительное число описаний объектов, не содержащих ошибки, к общему числу документов об объектах в БД.

В силу чрезвычайно большой трудоемкости анализа постоянно расширяющегося массива источников первичной информации, содержащей сведения об ФЭ, очень сложно оценить число известных из литературы ФЭ. Поэтому для приблизительной оценки полноты накопленных описаний в БД ФЭ за общее число ФЭ примем количество эффектов (соответствующих концептуальной модели ФЭ) в физическом энциклопедическом словаре [7]. При таком допущении расчет дает $K_1 \approx 91$ %. Физические эффекты являются достоверным физическим знанием и не обладают свойством морального старения. В силу этого можно считать, что $K_2 \approx 100$ %, $K_3 \approx 0$ %. Относительно идентичности данных заметим следующее. При формировании и расширении БД ФЭ, разумеется, встречаются субъективные ошибки, связанные с заполнением входных, выходных карт ФЭ и их вводом в компьютер. Для выявления такого рода ошибок производятся периодические сверки содержания входных и выходных карт ФЭ по отдельным разделам БД ФЭ. Практика таких сверок показывает, что $K_4 \approx 92$ %.

В заключении статьи отметим ряд важных обстоятельств, касающихся информационного наполнения баз данных по физическим эффектам.

Во-первых, процедура составления описаний ФЭ не является однократной, а носит итерационный характер. Необходимость пересмотра уже созданных описаний ФЭ объясняется рядом причин:

• постоянно появляется оперативная информация, позволяющая дополнить, модифицировать описания ФЭ по уже существующим моделям представления ФЭ;

• создаются новые модели представления ФЭ, которые требуют привлечения более широкой по составу информации;

• развитие технического и программного обеспечения ЭВМ позволяет снять ранее существовавшие жесткие ограничения по объему и составу информации в описаниях ФЭ.

Во-вторых, одной из главных возможностей адаптации автоматизированных информационных систем, оперирующих с ФЭ, к реальной задаче пользователя является открытость их информационного обеспечения. Пользователь должен иметь возможность самостоятельно создавать необходимое ему дополнительное информационное обеспечение, т.е. соответствующие объектно-ориентированные фонды ФЭ. Нами разработана методика создания таких фондов ФЭ, в общем виде она предусматривает осуществление следующих процедур:

• анализ имеющегося информационного массива ФЭ, главным образом, глобальной базы данных по ФЭ;

• подбор первичной информации из литературных источников (мобилизация первичной информации);

• предварительная обработка первичной информации для составления описаний ФЭ (анализ собранной информации и ее сортировка);

• составление описаний ФЭ или модификация существующих описаний ФЭ в соответствии с выбранной моделью представления ФЭ.

В [1,8,9] для каждой процедуры методики рассмотрены операции, входящие в ее состав, и даны рекомендации по их осуществлению на практике. Реализация ряда трудно формализуемых операций проиллюстрирована на конкретных примерах.

При интеграции вновь созданного объектно-ориентированного фонда ФЭ в состав общей БД ФЭ необходимо реализовать дополнительные процедуры: ввод описаний ФЭ в компьютер, верификация БД ФЭ, корректировка БД ФЭ, которые образуют в совокупности методику корректировки БД ФЭ при включении новых фондов. В [1,10] приведено описание процедур данной методики. Объединение процедур методик создания объектно-ориентированных фондов ФЭ и корректировки БД ФЭ при включении новых фондов позволяет сформировать общую методику модификации БД ФЭ, предназначенную для адаптации информационного обеспечения к изменяющимся потребностям пользователей.

В силу того, что большинство процедур *данной* методики достаточно трудоемко, нами в последние годы предприняты значительные усилия по автоматизации этих процедур [11-15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фоменков С.А., Давыдов Д.А., Камаев В.А.* Моделирование и автоматизированное использование структурированных физических знаний. Монография. - М.: Машиностроение - 1, 2004. - 278 с.

2. *Герасимов А.М., Колчин П.А., Фоменков С.А.* Автоматизированная система поиска физических эффектов «Полезный эффект». //Программные продукты и системы, 2007, №4, с. 38-39.

3. *Яровенко В.А., Фоменков С.А.* Совершенствование модели представления и средств управления массивом данных физических эффектов. //Вестник компьютерных и информационных технологий, 2010, № 9, с. 28-31.

4. *Яровенко В.А., Фоменков С.А., Колесников С.Г.* Компьютерное представление функциональной зависимости физических величин входа и выхода физического эффекта. //Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып.17». - Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2013, №14(117), с. 135-139.

5. *Антопольский А.Б., Ауссем В.И., Вигурский К.В. и др.* Учет, регистрация и сертификация баз данных. //НТИ. Сер.1. Орг. и методика информ. работы, 1993, № 7, с. 30-32.

6. *Дружинин Г.В., Сергеева И.В.* О сертификации информационных технологий. //Вестник РОИВТ, 1993, № 1-2, с.72-75.

7. Физика. Большой энциклопедический словарь. - М.: Большая Российская энциклопедия, 1998.

8. *Фоменков С.А., Колесников С.Г.* Методика модификации фонда физических эффектов. //Техника машиностроения, 2004, №3, с. 65-69.

9. *Фоменков С.А., Колесников С.Г., Коробкин Д.М.* Методика модификации информационного обеспечения базы данных физических эффектов. //Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып.14». - Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2012, №10(97), с. 166-170.

10. *Фоменков С.А., Колесников С.Г., Давыдов Д.А.* Методика корректировки базы данных по физическим эффектам при включении в них новых объектно-ориентированных фондов. //Машиностроитель, 2004, №5, с. 35-36.

11. *Попов М.Ю., Фоменков С.А., Заболеева-Зотова А.В.* Реализация семантико-синтаксического анализатора естественного языка в системе классификации текстовых документов. //Открытое образование, 2004, №5, с. 60-65.

12. *Фоменков С.А., Петрухин А.В., Колесников С.Г.* Автоматизация процедур формирования информационного обеспечения для систем концептуального проектирования, использующих структурированные физические знания в форме физических эффектов. //Качество и ИПИ (CALS) - технологии, 2005, №1, с. 26-29.

13. *Коробкин Д.М., Фоменков С.А., Колесников С.Г.* Автоматизация процесса формирования информационного обеспечения базы данных физических эффектов. // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2005, №3, с. 22-25.

14. *Коробкин Д.М., Фоменков С.А.* Методика выделения структурированной физической информации в виде физических эффектов из текста. //Вестник компьютерных и информационных технологий, 2009, №10, с. 35-39.

15. *Фоменков С.А., Коробкин Д.М., Дворянкин А.М.* Программный комплекс представления и использования структурированных физических знаний. //Вестник компьютерных и информационных технологий, 2012, №11, с. 24-28..

Научное издание

И З В Е С Т И Я
Волгоградского государственного технического университета
№ 22 (125), 2013 г.

С е р и я «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ИНФОРМАТИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»
Выпуск 18

Межвузовский сборник научных статей

Редактор *Л. Н. Рыжих*
Компьютерная верстка *Е. В. Макаровой*

Темплан 2013 г. (научные издания). Поз. № 54н.
Подписано в печать 16.12.2013. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,6. Уч.-изд. л. 19,26. Тираж 80 экз. Заказ № 906.

Волгоградский государственный технический университет.
400005, г. Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28, корп. 1.

Отпечатано в типографии ИУНЛ ВолгГТУ.
400005, г. Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28, корп. 7.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В сборнике научных статей «Известия высших учебных заведений», серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» публикуются статьи, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на совершенствование наземных транспортных и тяговых систем и их элементов, а также на повышение эффективности транспортных операций.

Вопрос об опубликовании статьи или ее отклонении решает редакционная коллегия сборника, которая утверждается ректором университета, ее решение является окончательным. Редколлегия направляет представленный для издания материал на рецензирование.

Рукопись должна быть набрана и сверстана в текстовом редакторе Word и распечатана на лазерном принтере в режиме полной загрузки тонера. Формат бумаги А4 (210×297 мм).

Для ускорения подготовки издания необходимо представлять файлы статей на дискетах или компакт-дисках (CD) в полном соответствии с распечатанным оригиналом. Дискета должна быть вложена в отдельный конверт, на этикетке дискеты указываются фамилии авторов статьи.

При наборе текста следует соблюдать следующие требования: поля – верхнее – 2,0 см, нижнее – 3,0 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см; шрифт Times, кегль 14, интервал полуторный.

Текст набирается с применением автоматического переноса слов, перед знаками препинания (в том числе внутри скобок) пробелы не допускаются, после них ставится один пробел. Разрядка слов не допускается, следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, рисунков, таблиц. Для набора символов в формульном редакторе MS Equation (MS Word) использовать установки (Стиль/Размеры) только по умолчанию; рисунки должны быть выполнены в редакторах векторной графики, таких как CorelDRAW или в любом приложении к Word. Допускается сканирование рисунков в программе Microsoft Photo Editor.

Инициалы и фамилия автора (авторов) пишутся над заглавием статьи. Ниже заглавия, перед основным текстом, указывается организация или предприятие, в котором работает автор статьи. В конце статьи ставится подпись автора (на бумажном варианте).

Литературные ссылки должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Библиографический список использованной литературы, составленный в порядке упоминания в тексте, дается в конце статьи; связь с основным текстом осуществляется цифровым порядковым номером в квадратных скобках в строке. Подстрочные ссылки не допускаются.

Иностранные фамилии и термины в тексте следует приводить в русском переводе. В библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводится на языке оригинала.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

При обозначении единиц физических величин должна применяться Международная система единиц (СИ).

Объем статьи не должен превышать 8 страниц бумаги формата А4, включая таблицы и библиографический список; число рисунков – не более четырех, включая рисунки, помеченные буквами *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 (полное имя, отчество, фамилия, ученая степень, звание, домашний адрес, номер телефона служебный, домашний, E-mail), документация, подтверждающая возможность ее открытого опубликования.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

УДК 004.414.23

В. И. Аверченков, К. В. Гулаков, М. Г. Шарапов

ДВУХУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА СОСТАВА ПОКРЫТИЯ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Брянский государственный технический университет

aver@tu-bryansk.ru, mikhail_sharapov@mail.ru, gulakov32@yandex.ru

Рассмотрены проблемы моделирования многофакторных зависимостей на основе экспериментальных данных с применением методов когнитивного моделирования. Предложена методика построения регрессионной модели зависимости прочностных характеристик сварного соединения от состава покрытия электрода на основе нейросетевого подхода. Представлены результаты нейросетевого моделирования функции ударной вязкости.

Ключевые слова: когнитивное моделирование, искусственные нейронные сети, сварочные материалы, аппроксимация нейронными сетями, нейросетевое моделирование.

V. I. Averchenkov, K. V. Gulakov, M. G. Sharapov

TWO-LEVEL MODEL SELECTION OF WELDING ELECTRODES COVERAGE

Bryansk State Technological University

The problems of modeling multivariate relationships on the experimental data basis using the methods of cognitive modeling considered. The method of construction of a regression model depends of strength characteristics of the weld on composition of electrode coating based on neural network approach presented. The results of the neural network modeling functions toughness presented.

Keywords: cognitive modeling, neural networks, welding materials, neural network approximation, neural network modeling.

Существующие подходы моделирования процессов и обработки экспериментальных данных опираются на регрессионный анализ данных. Задача аппроксимации или регрессионного анализа данных является типичной обратной задачей воссоздания причин по их следствиям. Как и большинство обратных задач, она относится к типу плохо определенных (некорректных); т. е. можно подобрать множество регресссионных моделей, удовлетворяющих заданным критериям.

Сложность моделирования заключается в том, что рассматриваемый класс задач представляет собой моделирование многопараметрической многофакторной зависимости, знания о которой содержатся только в имеющемся наборе измеренных значений независимых переменных (параметров) и соответствующих им зависимых переменных (факторов или признаков). При анализе многомерных данных будем считать, что каждый признак является случайной величиной. Тогда данные типа «объект–признак» размерности $n \times n$, в которых признаки X_j, $j = 1, ..., p$ являются случайными величинами, будем представлять в виде p-мерной случайной векторной переменной X. Существует много задач, в которых для обработки экспериментальных данных используются различные подходы к аппроксимации функций характеристик объекта исследования в зависимости от заданных параметров.

В качестве одного из приложений возьмем задачу о выборе состава покрытия сварочных электродов. Целью решения этой задачи является повышение прочности и качества сварного соединения, что, в общем случае, следует рассматривать как сложную взаимозависимость различных факторов. Разработка нового или совершенствование существующего сварочного материала представляет собой трудоемкий процесс, включающий изготовление большого количества экспериментальных серий, в каждой

из которых изготовляется до десяти и более опытных марок. Далее по стандартной схеме осуществляется сварка проб наплавленного металла и сварных соединений, разрезка и изготовление типовых и специальных образцов. Работы завершаются испытаниями и исследованиями образцов по стандартным или специально разработанным программам. Во избежание влияния на результаты исследований случайных факторов, таких как сварочные дефекты, обычно пробы после сварки проходят контроль (в том числе ультразвуковой, гамма- или рентгенографический). Все эти работы в совокупности отличаются не только большой трудоемкостью, но и длительностью. Так, в ЦНИИ КМ «Прометей» разработка новой марки сварочных электродов, даже при наличии определенного задела, обычно занимает от трех до пяти лет. Сокращение сроков и повышение качества результатов можно достичь используя методы математического моделирования [5].

Учитывая сложность рассматриваемой задачи, ее решение можно разделить на два уровня. На первом уровне интеллектуального анализа используется когнитивная модель, на втором – нейросетевая.

Задачей интеллектуального анализа данных является извлечение из них знаний и нахождение закономерностей на базе полученных знаний. Для эффективного анализа технологического процесса и управления качеством сварочного производства необходимо определить, какие параметры должны быть включены в план анализа, выявить факторы, которые оказывают существенное влияние на ход процесса. При этом количество измеряемых параметров может превосходить число измерений, что приводит к ситуации малой выборки.

Вторая особенность интеллектуального анализа данных – формулировка целевых критериев, поскольку известно много фактов значительного расхождения диагностических оценок разных специалистов, даже принадлежащих одной научной школе.

Третья проблема – наличие данных, содержащих погрешности и шумы, учет которых повлечет ошибки при нахождении закономерностей в экспериментальных данных.

Четвертая проблема связана с получением данных путем проведения трудоемких и растянутых во времени экспериментов. За это время возникает целый ряд субъективных и объективных причин появления пропуска в данных.

Пятый аспект анализа данных – одинаковые внешние проявления, обусловленные различными внутренними механизмами, что приводит к существенной неоднородности классов данных, которая формируется на основании заданных внешних критериев.

Анализ указанных проблем позволяет сделать вывод о том, что при интеллектуальном анализе экспериментальных данных необходимо найти в них структуру, выявить интересующие эксперта закономерности, позволяющие корректировать процесс производства. Под структурой данных понимают группы «схожих» по параметрам объектов. Каждой такой группе эксперт может поставить в соответствие некоторый технологический режим или скорректировать текущий, что позволит управлять качеством результата.

Таким образом, имеется некоторый класс задач, связанный с моделированием и анализом закономерностей в экспериментальных данных. Эти задачи имеют ряд общих признаков. Во-первых, исходными данными для анализа служат результаты экспериментов, отражающие стохастический процесс. Во-вторых, данные имеют многомерную структуру: n зависимых параметров и m измеряемых. В-третьих, данные могут быть неоднородными и содержать пробелы. В некоторых случаях требуется не только решение прямой задачи, такой как отыскание зависимости свойств произведенного изделия от параметров производства, но и обратной, в которой моделируется зависимость параметров производственного процесса от свойств изделия.

Построение когнитивной модели является первым этапом решения задачи, цель которого – систематизация знаний о факторах, влияющих на результат, а также определение величины влияния регрессионной модели, строящейся на следующем этапе, в сравнении с другими факторами.

С учетом вышеизложенного предлагается методика повышения качества сварного соединения на основе двухуровневой модели, включающей когнитивный и нейросетевой подходы. Первый уровень (или первый этап) построения модели включает разработку когнитивной модели рассматриваемой системы в целом, что позволяет выявить важнейшие факторы, управление которыми даст эффективный результат. На втором уровне производится моделирование некоторых факторов с помощью нейросетевых

методов на основе имеющихся экспериментальных данных.

Обобщенная схема процедуры построения двухуровневой модели представлена на рис. 1.

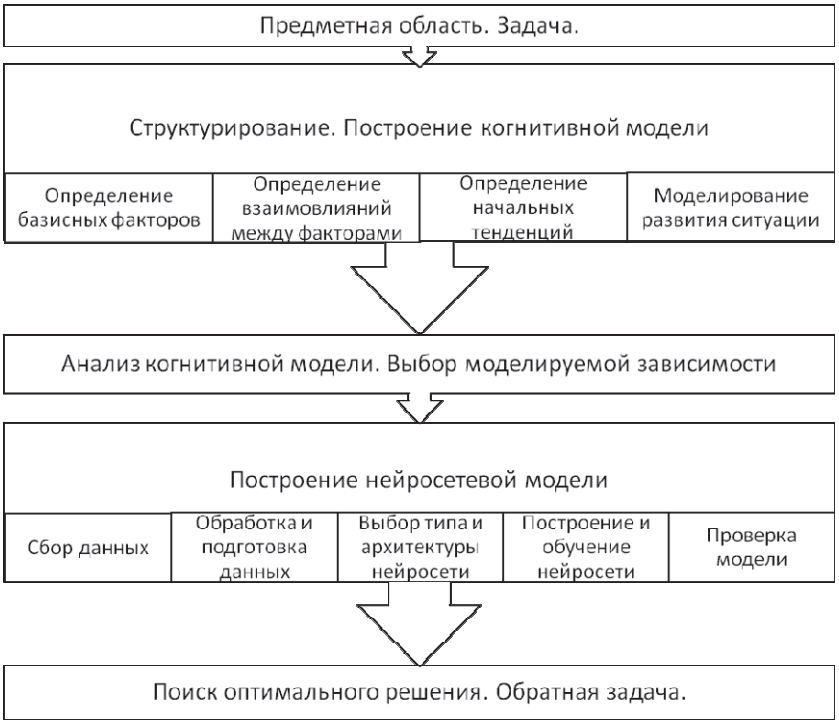


Рис. 1. Схема процедуры построения двухуровневой модели

Процедуру построения двухуровневой модели можно разделить на пять основных этапов. На первом этапе производится сбор информации о предметной области, а также формулируются цели и задачи моделирования. Информация об исследуемом процессе содержит как описательную часть, так и статистические данные, либо данные экспериментальных исследований. На следующем этапе собранная информация структурируется и производится построение когнитивной модели. Процесс построения когнитивной карты, позволяющий дополнительно структурировать и систематизировать полученные знания о системе, включает: определение списка рассматриваемых факторов, определение взаимозависимостей между этими факторами, моделирование развития ситуации. В рамках третьего этапа, в результате анализа когнитивной карты, необходимо определить наиболее значимые факторы, требующие дополнительного специального моделирования, с целью влияния за счет них на систему в целом. При этом следует учитывать возможность моделирования выбранных объектов или процессов нейросетевыми методами. На последующем этапе производится построение нейросетевой модели, включающее подэтапы: сбор экспериментальных данных об исследуемом объекте, подготовку, чистку и нормирование данных, определение типа и архитектуры используемой нейросети, построение, обучение нейросети, проверка корректности модели на тестовых данных. На заключительном этапе производится оптимизация параметров модели, что является поиском оптимального решения. Применяются методы оптимизации с целью нахождения значений параметров модели, обеспечивающих максимальное влияние рассматриваемого фактора когнитивной карты на результат. При необходимости строится нейросетевая модель для обратной задачи, применяемой для тонкого управления системой.

Когнитивное моделирование является одним из классов имитационного моделирования, в основе которого лежит построение и исследование когнитивной карты ситуации. Для этих целей используется аппарат знаковых, взвешенных знаковых и функциональных знаковых графов. Он позволяет работать с данными как качественного, так и количественного типа.

Когнитивное моделирование используется при работе с ослабоструктурированными (слабоформализованными) системами, может использоваться в тех областях, где никогда не

делались попытки провести моделирование. В таких системах невозможен традиционный эконометрический подход к анализу процессов для выработки комплексных (т. е. затрагивающих различные аспекты исследуемой системы) решений.

В работе исследовалась проблема повышения качества сварочной продукции. В результате анализа были выявлены следующие концепты, влияющие на процесс производства сварочной продукции:

1) процент брака;
2) качество свариваемого материала;
3) качество сварочного материала;
4) сварщики;
5) аттестация и сертификация;
6) сварочное оборудование;
7) технология сборки сварки;
8) нормативная документация;
9) проектная документация;
10) контроль качества (ОТК);
11) средняя ЗП;
12) ИТР;
13) заказчик;
14) общетехнический уровень сварочного производства;
15) стоимость производства 1 т продукции;
16) объем производства в единицу времени.

Составлена когнитивная карта (рис. 2), на которой представлены все рассматриваемые концепты. Карта представляет собой орграф, отражающий взаимное влияние концептов. Пунктирные линии обозначают отрицательное влияние, обычные – положительное.

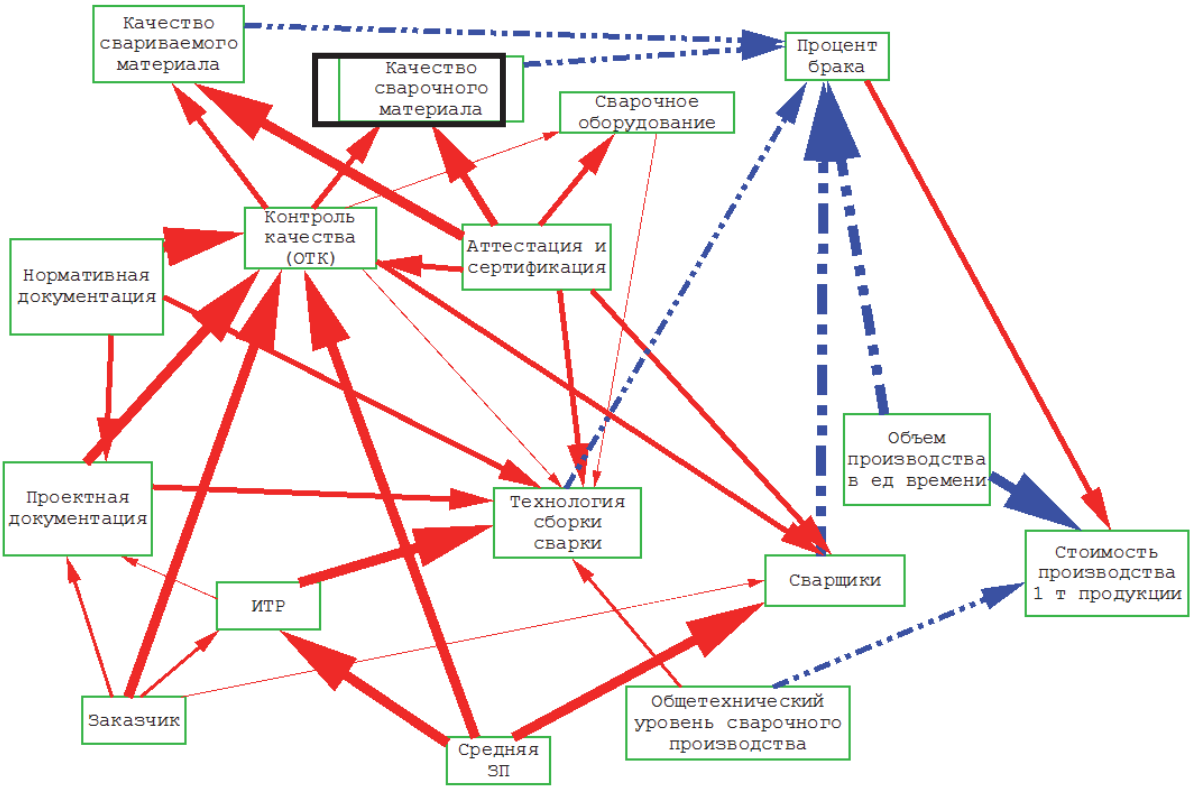


Рис. 2. Когнитивная карта процесса производства сварочной продукции

Определено взаимовлияние концептов и построена когнитивная модель процесса. При анализе полученной модели сделаны выводы о том, что наибольшее влияние на нее оказывает концепт «Средняя ЗП»; на втором месте находится концепт «Аттестация и сертификация». Саамыми подверженными влиянию со стороны модели являются концепты «Процент брака» и «Стоимость производства 1 т продукции». Один концепт никак не влияет на модель – это «Стоимость производства 1 т продукции». Существуют также концепты, на которые никак не влияет модель – это концепты № 5, 8, 11, 13, 14. Изменить уровень таких концептов можно только воздействием извне. Расчеты производились с применением системы поддержки принятия решений на основе когнитивного моделирования «ИГЛА» [1].

На втором уровне рассматривается проблема качества сварочных материалов. Модели-

руется зависимость прочностных характеристик металла шва от состава покрытия электрода на основе экспериментальных данных.

Основные этапы процесса нейросетевого моделирования представлены на рис. 3. Предлагается использовать нейросеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки. Для решения рассматриваемой задачи с применением искусственной нейронной сети следует прежде всего спроектировать структуру сети, адекватную поставленной задаче. Это предполагает выбор количества слоев сети и нейронов в каждом слое, а также определение необходимых связей между слоями.

Рис. 3. Этапы процесса нейросетевого моделирования

Подбор количества нейронов во входном слое обусловлен размерностью входного вектора x. Подобная ситуация и с выходным слоем, в котором количество нейронов принимается равным размерности ожидаемого вектора d. Серьезной проблемой остается подбор количества скрытых (внутренних) слоев и числа нейронов в каждом из них. Так, слишком большое число нейронов может привести к эффекту гиперразмерности сети и плохому качеству фильтрации помех (эффект «проклятия размерности»), а слишком малое – к грубой аппроксимации зависимости. Задача определения оптимального числа нейронов является трудноформализуемой и противоречивой и чаще всего требует вмешательства исследователя [4]. Для определения архитектуры многослойного персептрона были исследованы сети с различным количеством нейронов в скрытом слое.

В задаче о выборе состава покрытия электродов целью является поиск состава покрытия электродов (а именно содержание CaO, MgO, TiO_2, CaF_2), который обеспечивает необходимые характеристики сварного шва. Рассматриваются следующие характеристики шва:

P – ударная вязкость, Дж/см^2;

Q – удельная энергия разрушения, Дж/см^2;

R – удельная энергия зарождения трещины, Дж/см^2;

S – удельная энергия распространения трещины, Дж/см^3.

Эти свойства зависят от состава покрытия электродов, а также от температуры образца сварного шва [5].

Таким образом, имеем:

$$f(X,T)=\left[P,Q,R,S\right],$$

где X – вектор состава покрытия электрода, в котором каждый элемент x_i – процентное содержание некоторого вещества в составе покрытия электрода; T – скаляр, температура; P, Q, R, S образуют вектор характеристик сварного шва.

Первая часть решения задачи сводится к отысканию регрессионной модели $f(X,T)$ на основе анализа экспериментальных данных.

Построена нейросетевая модель на основе многослойного персептрона, которая для заданного состава покрытия электрода и заданной температуры определяет прочностные характеристики металла шва (P, Q, R, S). Максимальная ошибка модели составила около 2 %. Посредством полученной модели рассчитано оптимальное содержание легирующих элементов в составе покрытия электрода (CaO+MgO–30 %, TiO_2–10 %, CaF_2–20 %), которое обеспечивает ударную вязкость P=244 Дж/см^2, удельную энергию разрушения Q=162 Дж/см^2, удельную энергию зарождения трещины Q=65 Дж/см^2, удельную энергию распространения трещины S=97 Дж/см^2 при температуре T=+20 °C. Построенная нейросетевая модель позволяет определить для заданного состава покрытия электрода X и заданной температуры T прочностные характеристики сварного шва P, Q, R, S.

При решении задачи поиска оптимального состава покрытия электрода целью является определение процентного содержания легирующих компонентов, обеспечивающее максимальные показатели прочностных характеристик металла шва. Такая задача рассматривалась в [3], однако не производилась оптимизация целевой функции.

Существуют различные методы многокритериальной оптимизации функции многих переменных. Рассматриваются методы прямого поиска оптимума функций многих переменных. Такие методы оперируют только значениями функции. Все они обладают различными достоинствами и недостатками, и выбор типа свертки в задаче многокритериальной оптимиации является важным этапом, от которого зависит сама возможность нахождения оптимального решения. Для решения задачи о выборе оптимального состава покрытия электрода был выбран метод равномерной оптимизации, в котором производится линейная свертка в условиях приоритета критериев $F(X) = \sum_{i=1}^{m} \lambda_i f_i(x) \rightarrow max$, где $F(X)$ – целевая функция, $f_i(x)$ – прочностные характеристики металла шва; λ_i – коэффициент нормирования [2].

Получены значения параметров целевой функции: состав покрытия электрода и соответствующие им расчетные значения прочностных характеристик металла шва при различных температурах. Оптимальным составом покрытия электрода, обеспечивающим максимальные значения прочностных характеристик металла шва можно считать состав с содержанием TiO_2=5 %; CaF_2=25 %; CaO+MgO= 30 %.

Разработана программная система нейросетевого моделирования прочностных характеристик металла шва. На рис 4 представлен фрагмент интерфейса системы. В показанном диалоге производится симуляция обученной нейросети для решения задачи о выборе состава покрытия электрода. Пользователь указывает состав покрытия, а также температуру и по нажатию кнопки «расчет» на выходах получает прогнозные показатели прочностных характеристик металла шва для заданного состава покрытия электрода.

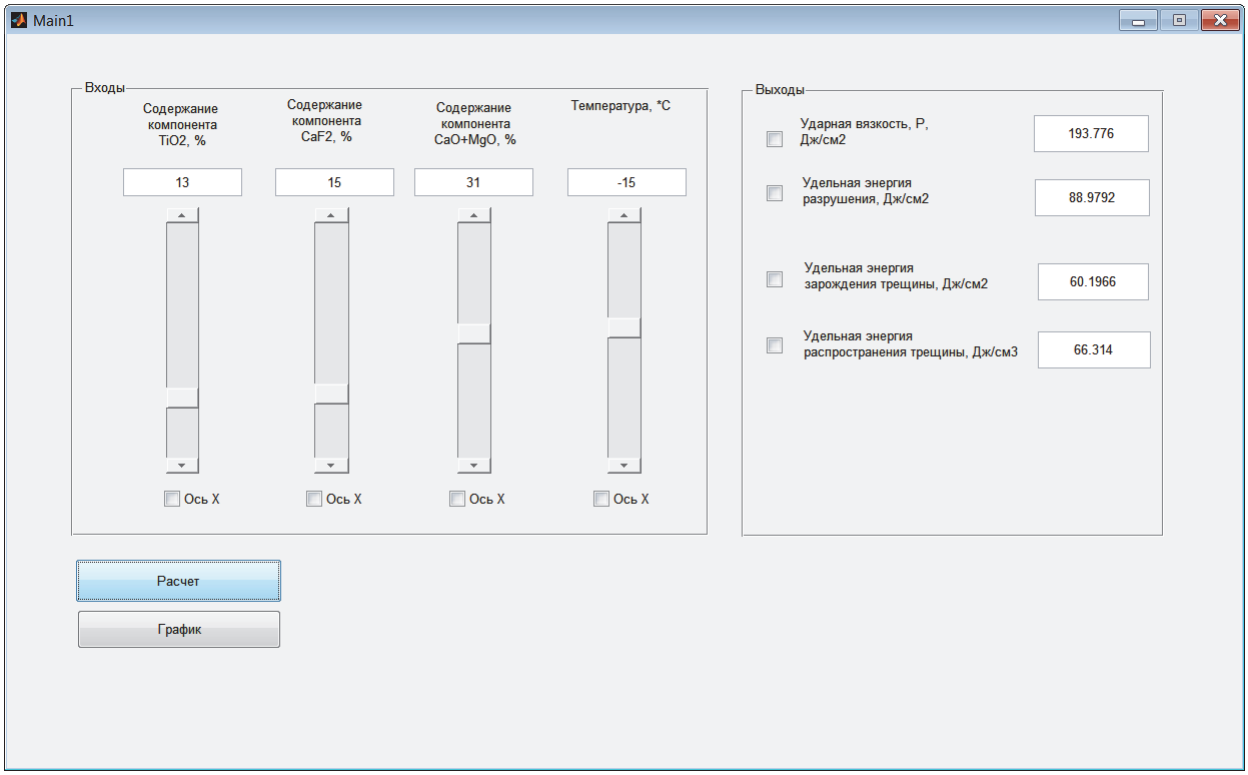


Рис. 4. Фрагмент интерфейса программной системы

График аппроксимируемой функции ударной вязкости P, реализованный нейросетью многослойный персептрон с одним скрытым слоем и 8-ю нейронами в нем представлен на рис. 5.

Классический подход к решению задач рассматриваемого класса сопряжен с рядом трудностей – это и выбор базисных кривых, и необходимость оптимизировать функцию погрешности, что требует применения методов оптимизации для многомерных функций. Задачу минимизации функций погрешности сводят либо к задаче решения системы линейных уравнений, либо к задаче линейного программирования, что значительно сложнее. При нели-

нейной аппроксимации решается система нелинейных уравнений, а эта задача имеет большую вычислительную сложность. При этом трудности определения коэффициентов аппроксимируемой функции нескольких аргументов многократно увеличиваются. Если экспериментальные данные отражают стохастический процесс, требуется привлечение дополнительного инструментария теории вероятности. В этом случае аппроксимирующая функция становится регрессиионной моделью, а задача ее формирования относится к классу задач регрессионного анализа.

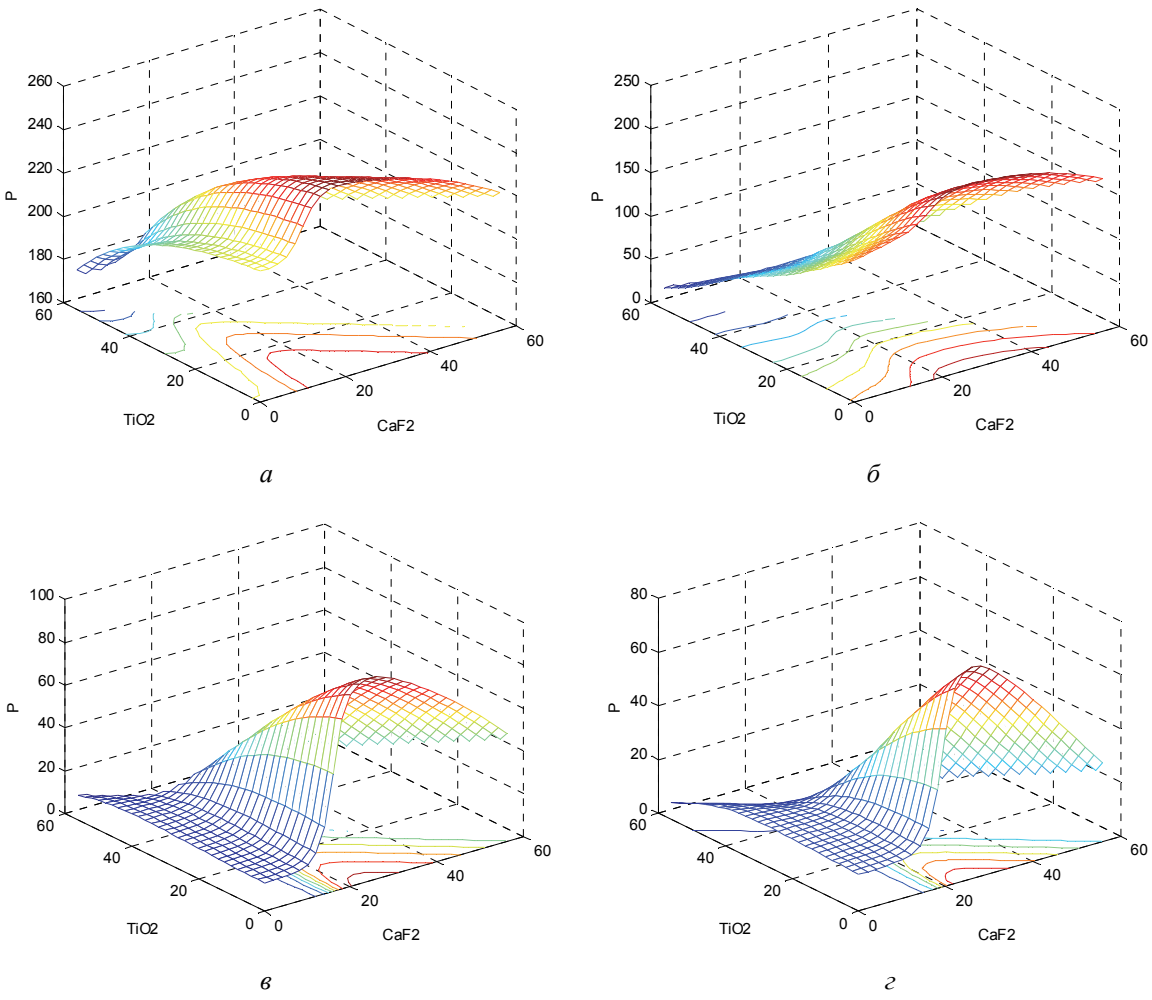


Рис. 5. График функции ударной вязкости:
а – ударная вязкость при $T = +20$ °C; *б* – ударная вязкость при $T = -20$ °C;
в – ударная вязкость при $T = -40$ °C; *г* – ударная вязкость при $T = -60$ °C.

В аппарате математической статистики существуют методики построения линейных и нелинейных регрессионных зависимостей. Нелинейные зависимости с точки зрения теории планирования эксперимента строятся главным образом на основе полиномов второй степени. Более сложные нелинейные регрессионные модели строят с использованием линеаризующих преобразований. В этом случае появляются дополнительные трудности с подбором экспертом подходящих функций для замены, а также приходится минимизировать сумму квадратов отклонений для преобразованных переменных, а не исходных, что не одно и то же. При работе с многомерными данными вычислительная сложность алгоритмов возрастает многократно.

Обработка многомерных данных, включающая задачи классификации, создания новой структуры признакового пространства и интерпретации их, хранения, передачи по каналам связи, представляет определенные трудности. Решение этих задач значительно упрощается, если подвергнуть сжатию размерность признакового пространства. Такое сжатие возможно, поскольку в большинстве случаев признаки

взаимосвязаны (коррелированы) и, следовательно, данные избыточны с точки зрения информации, и эта избыточность полностью определяется корреляционной матрицей исходных переменных *X*. Однако подобное сжатие всегда ведет к потере некоторой информации, что является существенным недостатком классических методов обработки многомерных данных.

На этом фоне использование нейросетей как универсальных аппроксиматоров для построения регрессионных моделей является менее трудоемким и значительно более универсальным методом. Нейросети открывают ряд качественно новых возможностей, особенно в отношении создания регрессионнных моделей, наиболее полно учитывающих реальные свойства системы, в том числе нелинейность, и обеспечения быстродействия для получения конечного результата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гулаков, В. К.* Система поддержки принятия решений на основе когнитивного моделирования «ИГЛА» / В. К. Гулаков, Д. Г. Лагерев, А. Г. Подвесовский // Программные продукты и системы. – 2007. – № 3. – С. 103–104.

2. *Рыков, А. С.* Системный анализ. Модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации / А. С. Рыков. – М.: МИСиС, 2009. – 608 с.

3. *Юркинский, С. В.* Разработка низколегированных электродов, обеспечивающих высокую хладостойкость сварных соединений корпусных конструкций из сталей типа АБ : дис. ... канд. техн. наук / С. В. Юркинский. – 2009. – С. 179.

4. *Гулаков, К. В.* Выбор архитектуры нейронной сети для решения задач аппроксимации и регрессионного анализа экспериментальных данных / К. В. Гулаков // Вестн. БГТУ. – 2013. – № 2. – С. 95–105.

5. *Юркинский, С. В.* Улучшение качества электродов типа 48ХН / С. В. Юркинский, М. Г. Шарапов, В. В. Гежа, Р. В. Бишоков // Вопросы материаловедения. – 2000. – № 3. – С. 97–101.

УДК 62-505

В. К. Акинфиев, А. Д. Цвиркун

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ: ОПТИМИЗАЦИОННО-ИМИТАЦИОННЫЙ ПОДХОД

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН

akinf@ipu.rssi.ru

В работе рассмотрены модели и методы управления развитием промышленных компаний со сложной структурой активов, основанные на оценке и выборе инвестиционных программ развития компаний.

Ключевые слова: планирование и разработка бизнес-планов инвестиционных проектов, оптимизационно-имитационный подход.

V. K. Akinfiev, A. D. Tsvirkun

MANAGEMENT DEVELOPMENT OF LARGE-SCALE SYSTEMS: OPTIMIZATION-SIMULATION APPROACH

Institute of Control Sciences V. A. Trapeznikov Academy of Sciences

The paper discusses the models and methods of management of development of industrial companies with a complex structure of assets, based on the evaluation and selection of investment programs of companies.

Keywords: planning and development of business plans for investment projects, optimization-simulation approach.

Интегрированные компании планируют реализацию, как правило, множества инвестиционных проектов, ориентированных на развитие дочерних предприятий. Инвестиционные проекты предприятий часто взаимозависимы, и их реализация влияет на финансово-экономические показатели холдинговой компании. При разработке инвестиционных проектов для группы предприятий или предприятий со сложной внутренней структурой требуется применение многоуровневых моделей. Различные имитационно-оптимизационные модели отвечают задачам, решаемым в отдельных предприятиях.

1. Методы построения комплекса производственно-финансовых моделей

Рассмотрим задачи выбора инвестиционной стратегии развития промышленных компаний, имеющих сложную структуру производственных активов (предприятий), объединенных общей технологической схемой производства продукции (вертикально-интегрированные компании) [2]. Выбор состава и очередности инвестиционных проектов определяет «траекторию» изменения во времени производственно-финансовых показателей компании и степень их приближения к целям стратегического развития.

Задача оптимизации состоит в выборе наилучшего варианта инвестиционной программы развития компании (составе и очередности реализации проектов) в смысле выбранного критерия оптимизации при заданных ограничениях на выполнение целевых установок, общую стоимость программы, требуемый уровень доходности инвестиционной программы.

Необходимым условием решения поставленной задачи является разработка комплекса взаимосвязанных моделей, описывающих объект оптимизации (алгоритмически заданные соотношения между производственной и инвестиционной программой развития компании, а также вектором ее производственно-финансовых показателей).

Надежность и достоверность финансово-экономических показателей инвестиционных проектов и программ во многом зависят от степени адекватности исходной технико-экономической информации реальным условиям их осуществления, методологической обоснованности, алгоритмической и нормативно-правовой корректности проводящихся расчетов, и качества и функциональных возможностей используемого программного обеспечения для создания адекватной решаемой задаче производственно-финансовой модели компании.

Важнейшие требования, которым должна удовлетворять производственно-финансовая модель интегрированной промышленной компании:

– возможность моделирования сложной многостадийной технологической схемы производства и оценки взаимосвязанной совокупности инвестиционных проектов, реализуемых в различных цехах и производствах;

– возможность совместного моделирования инвестиционных программ группы предприятий, входящих в интегрированную компанию, и оценки совокупности инвестиционных проектов;

– возможность моделирования, оценки и сравнения различных вариантов инвестиционных решения в одной производственно-финансовой модели интегрированной компании.

Появление методических рекомендаций по финансово-экономическому анализу и оценке эффективности инвестиционных проектов, возросшие потребности разработчиков и инвесторов в обоснованных методах отбора проектов для финансирования, большое разнообразие аналитических задач, широкое распространение и доступность аппаратных средств послужили толчком к разработке и практическому применению инструментальных средств поддержки инвестиционных расчетов.

Разработано множество программных продуктов, среди которых можно отметить такие, как COMFAR и PROPSPIN, разработанные в UNIDO, а также BizPlan Builder компании JIAN, Business Plan Pro фирмы Palo Alto Software, Smart Business Plan американского института финансовых исследований и др. Однако их практическое использование в условиях российской экономики оказалось затруднено вследствие отличия правовой, налоговой и финансовой систем от аналогичных систем западных стран.

Поэтому в России распространение получили отечественные программные продукты, среди которых следует отметить «Альт-Инвест» компании АЛЬТ, «Project Expert», разработанный компанией PRO-INVEST CONSULTING, «ТЭО-ИНВЕСТ» Института проблем управления РАН, а также «Инвестор» компании ИНЭК и ряд других.

Отметим программный комплекс «ТЭО-ИНВЕСТ», разработанный коллективом авторов Института проблем управления РАН [1], который предоставляет пользователям возможность построения моделей для предприятий, имеющих сложную технологически структуру производства. В методике проведения расчетов «ТЭО-ИНВЕСТ» рассматривается ситуация, когда один или несколько продуктов используются также для производства других продуктов внутри предприятия, т. е. являются полуфабрикатами. Программный комплекс «ТЭО-ИНВЕСТ» – эффективное инструментальное средство для финансового менеджмента на предприятии и в корпорации. «ТЭО-ИНВЕСТ» дает возможность построить имитационную модель предприятия и проводить анализ различных тактических и стратегических решений.

«ТЭО-ИНВЕСТ» позволяет:

– построить финансовую модель действующего или вновь создаваемого предприятия, с помощью которой разрабатывать среднесрочные и долгосрочные производственные и финансовые планы предприятия, проводить сценарный анализ управленческих решений и выбирать наиболее эффективные из них;

– провести анализ и обоснование инвестиционных решений, включая оценку эффективности реорганизации производства, строительства промышленных предприятий и внедрения новых технологий. Провести экспер-

тизу предполагаемых инвестиций, выбрать и обосновать оптимальную схему финансирования проекта;

– обосновать целесообразность направления и способы государственной, отраслевой и региональной поддержки инвестиционных проектов, рассчитать бюджетную эффективность инвестиционного проекта, представляемого на конкурс или тендер;

– разработать финансовые разделы бизнес-планов инвестиционных проектов, включая подготовку пакета форм и графических иллюстраций на русском и английском языках.

Состав основных блоков (модулей) производственно-финансовой модели промышленной компании показан на рис. 1.

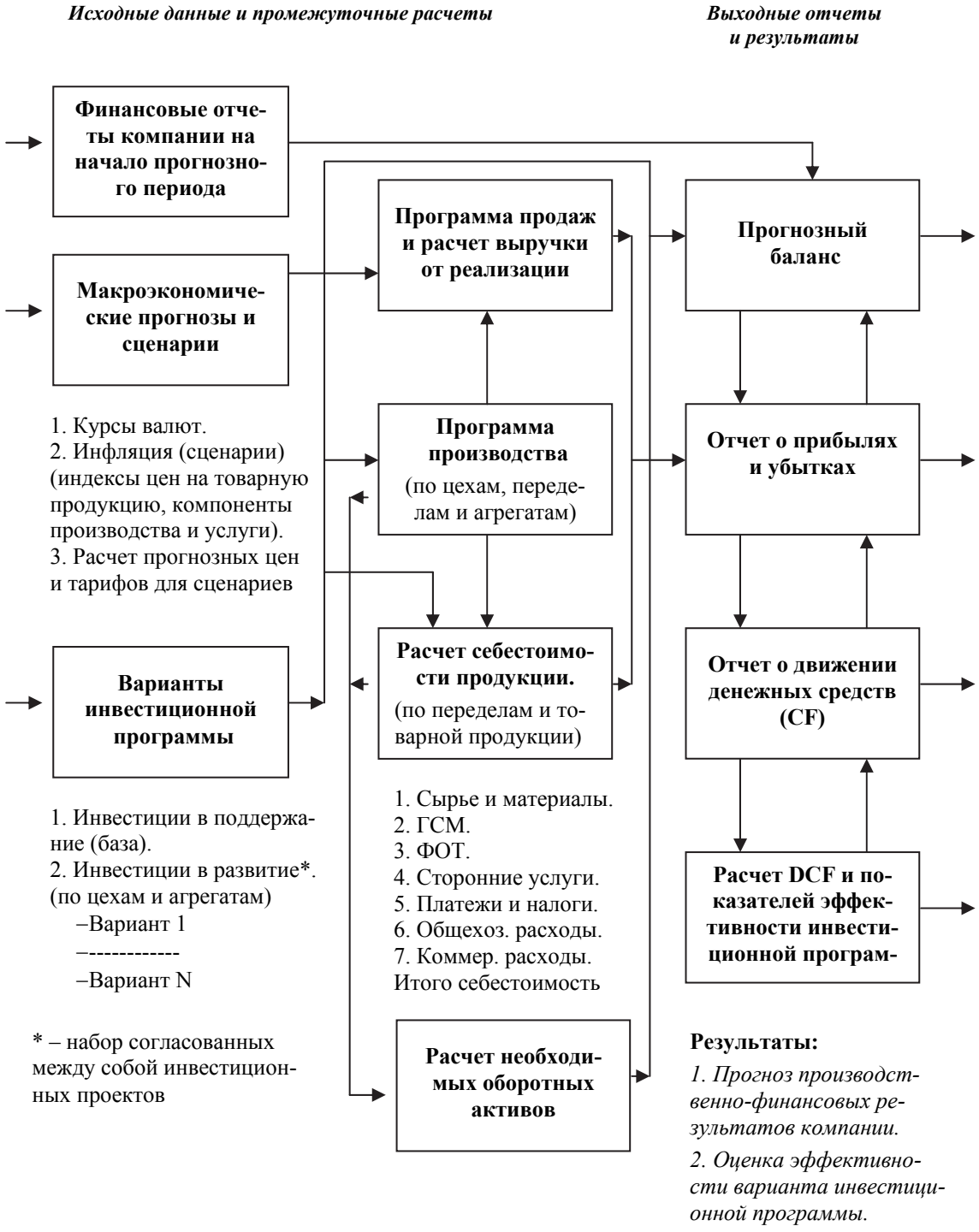


Рис. 1

Проведенный анализ задач показывает, что для их решения необходимо дальнейшее совершенствование методических и инструментальных средств линейки продуктов программного комплекса «ТЭО-ИНВЕСТ». Основное направление развития, по мнению авторов, состоит в построении комплексов взаимосвязанных производственно-финансовых моделей и программных средств, позволяющих учитывать производственную и логистическую структуру производственных процессов распределенных вертикально-интегрированных компаний и взаимовлияние инвестиционных проектов, реализуемых в различных элементах структуры компании. Комплекс взаимосвязанных производственно-финансовых моделей должен также включать два уровня моделей: для компании в целом (консолидирующая модель), а также для каждого структурного элемента компании. Заметим, что, в отличие от случая многопрофильной компании, для вертикально-интегрированных компаний процедуры консолидации усложнены и не сводятся только к суммированию финансовых показателей.

При разработке инвестиционных проектов для группы предприятий или предприятий со сложной внутренней структурой требуется применение многоуровневых моделей. Различные имитационно-оптимизационные модели отвечают задачам, решаемым в отдельных предприятиях (рис. 2). Модели каждого уровня различаются типом решаемых задач (финансово-экономические, технологические) и разной степенью детализации.

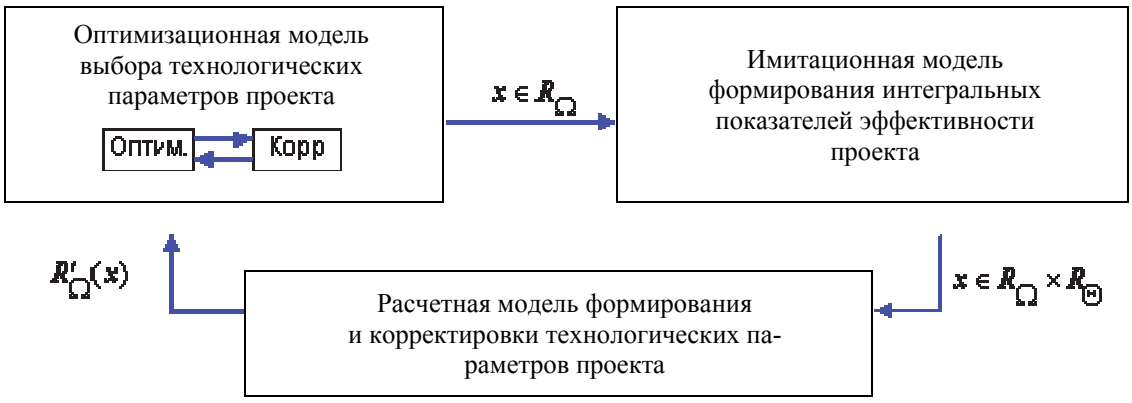


Рис. 2

В общем случае для поиска решений используется имитационно-оптимизационный подход [2–4]. Взаимосвязь оптимизационной и имитационной моделей показана на рис. 2.

Пусть X(t) – исходные данные (внешнее окружение (налоги, инфляция, обязательные платежи), технология производства, программа производства и продажи, инвестиционная программа, производственные издержки, оборотный капитал, финансовые инструменты (кредиты, акции, лизинг, дивиденды)); Y(t) – выходные показатели (экономические, финансовые, бюджетные).

Имитационная модель F(X(t)) позволяет определить Y(t) = F(X(t)). Найденное решение Y*(t), X*(t). На такой модели эффективно используются модели подбора параметров.

Задача оптимизации развития предприятия может быть формализована в виде:

Y(T) -> max,

при условии, что

Y(t) = F(X(t))

$Y(t) \in \overline{Y}(t)$,

$X(t) \in \overline{X}(t)$.

Найденное решение Y**(t), X**(t).

Условия $Y(t) \in \overline{Y}(t)$ и $X(t) \in \overline{X}(t)$ могут задавать дополнительные балансовые и другие ограничения в оптимизационной модели.

Технико-экономическое моделирование предполагает построение комплекса взаимосвязанных оптимизационных, имитационных и расчетных моделей. Каждая модель отвечает своим специфическим задачам, а окончательное решение достигается в процессе преобразования и передачи информации между моделями на основе организации итеративных процедур их взаимодействия.

В зависимости от целевой направленности этапа проектирования, специфики инвестиционного проекта и других факторов на практике могут быть реализованы различные способы построения комплекса моделей, различающие-

ся сочетанием моделей, уровнем их детализации, процедурами генерации вариантов решений, правилами проверки условий и ограничений, а также способами корректировки моделей в процессе итераций.

2. Оптимизационно-имитационный комплекс ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ

Использование разработанных в Институте управления РАН оптимизационно-имитационных методов и программных средств для финансового планирования «ТЭО-ИНВЕСТ» позволяет построить комплекс оптимизационно-имитационных моделей предприятия с учетом различных технологических схем производства продукции и финансовых особенностей его работы.

«ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ» позволяет осуществлять моделирование производственных процессов. «ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ» позволяет построить потоковые схемы работы НПЗ с вычисленными балансами материальных потоков. На построенных потоковых схемах работы НПЗ проверяется допустимость получения заданных объемов отбора нефтепродуктов. При этом могут моделироваться запасы нефтепродуктов. Для эффективной работы НПЗ могут быть заданы различные схемы работы, которые последовательно используются по периодам [1–4].

Полученные в «ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ» потоковые схемы работы НПЗ с вычисленными балансами материальных потоков могут быть использованы для оперативного решения прямой задачи (что можно получить из заданного объема нефти) при фиксированной технологии. Возможно также оперативное решение обратной задачи (сколько нужно нефти и сколько получается других фракций) при фиксированной технологии для получения заданного объема конкретного нефтепродукта или ассортимента нефтепродуктов.

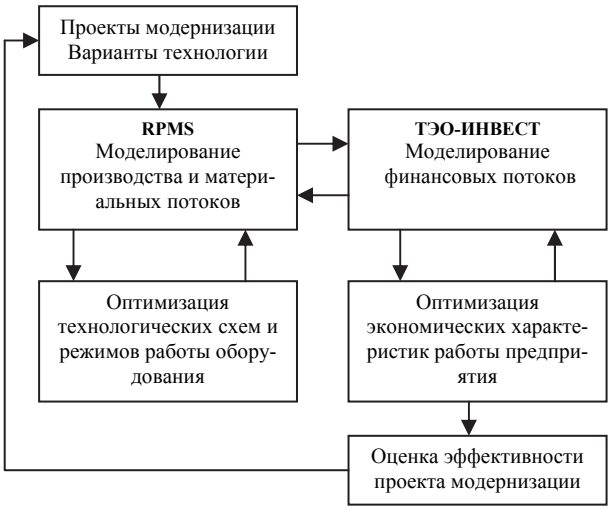


Рис. 3

Моделирование финансовых процессов

Для моделирования финансовых процессов в системе используется программный комплекс «ТЭО-ИНВЕСТ», который позволяет:

– осуществлять бюджетное планирование на предприятии, включая моделирование расходной и доходной частей бюджета; расчет потоков денежных средств и долговых обязательств; управление оборотными средствами и издержками предприятия; оптимизацию структуры выпускаемой продукции с позиций рынка; прогноз структуры баланса предприятия и расчет финансовых показателей;

– проводить комплексную финансовую экспертизу принимаемых управленческих решений, включая оперативный, среднесрочный и стратегический план основных финансово-экономических показателей деятельности предприятия (на текущий месяц, квартал, год) с учетом сложившейся структуры дебиторской и кредиторской задолженности, состояния капитала и фондов предприятия, тенденций основных влияющих факторов, экспертных предположений и т. д.

Оптимизация

Осуществить многовариантные сценарные и оптимизационные расчеты финансового баланса предприятия на перспективный период при различных значениях управляющих параметров (сценариях).

«ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ» позволяет рассчитать производственную программу НПЗ (на интервал более декады) формируя имитационные модели и задачи математического (линейного) программирования. В качестве критерия оптимизации используется маржинальная прибыль (товарный выпуск продукции НПЗ минус затраты на сырье, минус переменные производственные затраты).

Если для отдельных блоков потоковой схемы завода могут быть использованы различные режимы (например, при различных объемах перерабатываемого продукта), то может быть поставлена задача линейного программирования на маржинальную прибыль (RPMS или Excel).

Рассматриваемая задача, для заданного периода планирования и заданного набора техно-

логий, которые могут быть использованы на рассматриваемом интервале, имеет малую размерность, равную числу различных схем, которые используются на данном интервале. Поскольку задача имеет малую размерность, она легко может быть решена с помощью стандартного пакета оптимизации (например, модуля «Поиск решений», входящего в Excel).

«ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ» позволяет в процессе проведения расчетов учитывать ограничения на материальные потоки, связанные с технологией производства; при заданном составе сырья и материалов определить объемы получаемых выходных продуктов при использовании различных технологий; при исследовании вариантов расширения нефтеперерабатывающего предприятия программный комплекс «ТЭО-ИНВЕСТ-НПЗ» позволяет определить, какие технологии (комбинации блоков и какие производственные мощности) дадут максимальный доход.

Результаты расчетов представляются в виде набора табличных и графических отчетов. Программные средства обеспечивают возможность сравнения результатов, полученных при разных сценариях.

Использование «ТЭО-ИНВЕСТ» совместно с системой RPMS

Система RPMS предназначена для производственного планирования нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. Система позволяет детально учитывать технологию производства продукции на предприятии и формирует производственный план его работы на базе сформированной в системе производственно-технологической модели предприятия.

Использование «ТЭО-ИНВЕСТ» совместно с системой RPMS позволяет решать задачу финансово-экономического анализа сформированных производственных планов, а также оценки эффективности инвестиционных программ развития и реконструкции предприятий. Программа реконструкции может состоять из набора инвестиционных проектов, каждый из которых приводит к изменению производственно-технологической модели предприятия. Если последовательно реализуется N проектов, то в результате происходит изменение модели предприятия (Модель 1, …, Модель N)

На первом этапе, с использованием системы RPMS, проводится серия расчетов оптимальной производственной программы предприятия для каждой из моделей (Модель 1, …, Модель N).

На втором этапе расчеты проводятся в системе «ТЭО-ИНВЕСТ». Для каждого проведенного расчета из RPMS в «ТЭО-ИНВЕСТ» передается следующая информация:

– номенклатура выпускаемой продукции предприятия;

– номенклатура сырья, ТЭР и материалов, используемых в производстве;

– объемы выпуска (продаж) по каждой позиции номенклатуры выпускаемой продукции в натуральном выражении;

– цена реализации продукции (без налогов);

– затраты по каждой позиции номенклатуры сырья, ТЭР и материалов в натуральном и денежном выражении.

Кроме этого указываются моменты времени переключения производственно-технологической модели предприятия с Модели 1 на Модель 2, с Модели 2 на Модель 3 и т. д. Заметим, что моменты переключения связаны с реализацией инвестиционных проектов, предусмотренных инвестиционной программой реконструкции производства на предприятии.

Передача этой и другой необходимой информации в систему «ТЭО-ИНВЕСТ» происходит автоматически с использованием специального интерфейсного файла в формате XML, формируемого программой R-Briv из системы «RPMS» (рис. 4). Специальная процедура обработает XML-файл и, в соответствии с хранящимися в нем данными, настроит систему «ТЭО-ИНВЕСТ» на расчет и введет необходимые исходные данные.

Кроме автоматически введенных данных из системы «RPMS» пользователем дополнительно вносятся в соответствующие таблицы ТЭО-ИНВЕСТ следующие исходные данные:

– по планируемой инвестиционной программе на предприятии;

– структуре производственных издержек;

– схеме финансирования инвестиционной программы (собственные средства, государственные субсидии, кредиты и т. п.).

Выбор соответствующих пунктов меню позволяет осуществлять ввод информации, пересчет и просмотр входных и выходных таблиц и графической информации.

Расчет экономической эффективности инвестиционной программы в «ТЭО-ИНВЕСТ» осуществляется методом оценки приращений. При этом последовательно проводится два расчета: расчет денежного потока предприятия без учета реализации инвестиционного проекта (Шаг 1) и с учетом реализации инвестиционного проекта (Шаг 2).

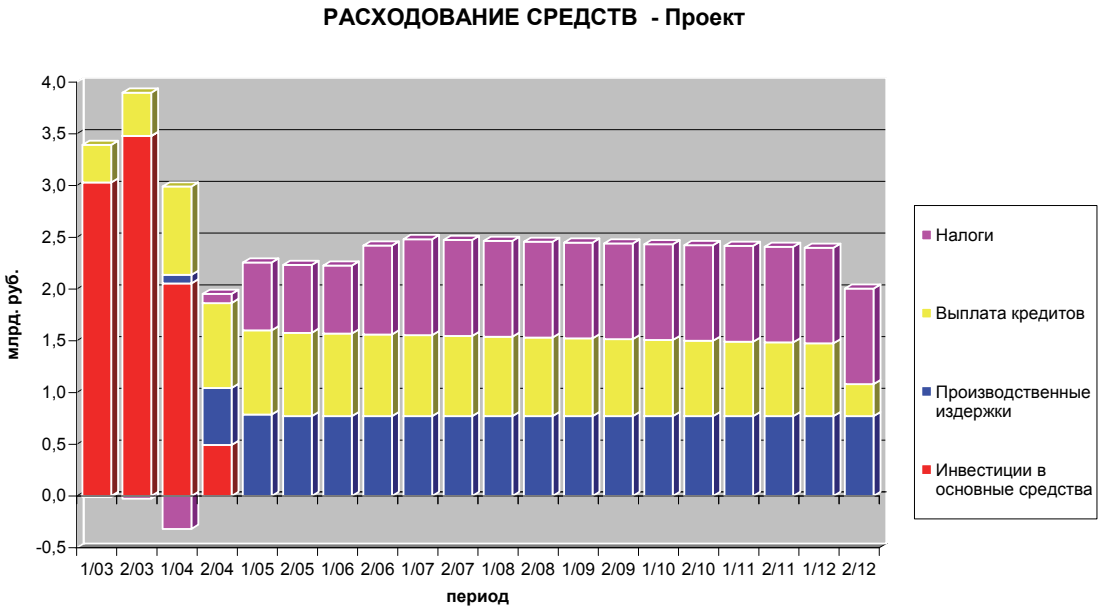


Рис. 4

На основе этой информации автоматически рассчитываются все изменения по составляющим потока денежных средств, характеризующих работу предприятия и связанных с внедрением инвестиционной программы, в том числе изменение в выплатах налогов (на прибыль, НДС и других), начисления амортизации и др. Кроме этого, в зависимости от схемы финансирования программы рассчитывается потребность в денежных средствах по периодам ее реализации.

В результате расчетов формируются показатели эффективности проекта, в том числе NPV, IRR, PI, позволяющие обосновать решение о финансировании программы реконструкции НПЗ.

3. Пример

Рассмотрим пример оценки и выбора варианта осуществления инвестиционного проекта реконструкции нефтеперерабатывающего завода.

До начала осуществления инвестиционного проекта в состав НПЗ входили следующие установки: ЭЛОУ-АВТ мощностью по сырью 7,37 млн. т/год, гидроочистки бензиновых и дизельных фракций (мощностью 1,5 и 0,62 млн. т соответственно), висбрекинга (1,85 млн. т/год), производства водорода (55 тыс. т/год), производства серы (37 тыс. т/год). НПЗ закупает нефть, которая проходит обессоливание на установке ЭЛОУ и поступает на первичную перегонку на АВТ.

В рамках реализации программы развития НПЗ, целью которой является углубление переработки нефти и производства более ценных конечных продуктов (высокооктановых бензинов), предполагается построить ряд установок технологической цепочки каталитического крекинга, а также установку по производству битума.

Инвестиционный проект предусматривает строительство восьми новых установок: каталитического крекинга (мощностью 1,5 млн. т), гидроочистки сырья каталитического крекинга (мощностью до 2 млн. т/год), гидроочистки нафты, производства МТБЭ, алкилирования и дополнительно по одной установке производства элементарной серы и получения водорода, а также битумной годовой производительностью в 315 тыс. тонн. Ввод этих мощностей позволит выпускать высокооктановые бензины А-76, АИ-92, АИ-95, АИ-98, пропан-пропиленовую фракцию и некоторые другие продукты за счет снижения выпуска мазута; удвоить объем производства экспортного дизтоплива и довести глубину переработки сырья до 69 %.

Временной период анализа проекта составляет 10 лет с шагом расчета полгода. Инвестиционная фаза длится 2 года и включает два этапа – в первые 1,5 года осваивается основной объем капиталовложений и к началу 4-го полугодия осуществляется пуск установок на 50 % мощности. Второй этап инвестиционной фазы включает проведение пусконаладочных работ и вывод установок на 100 %-ю проектную мощность.

Результаты расчета эффективности проекта

Для оценки инвестиционного проекта на действующем предприятии (проект реконструкции НПЗ) проведены расчеты с целью их сравнения и выделения денежных потоков (финансовых эффектов), характеризующих инвестиционный проект, а именно:

расчет предприятия без осуществления проекта (базовый расчет);

расчет предприятия с учетом реализации проекта.

При этом в ПК «ТЭО-ИНВЕСТ» используется тип расчета «Расчет проекта для действующего предприятия». Данный тип расчета требует учета начального состояния (начального баланса). Расчет экономической эффективности инвестиционного проекта осуществляется методом оценки приращений. Оценка приращений производится в ПК «ТЭО-ИНВЕСТ» автоматически в результате сравнения проведенных расчетов.

Проектный баланс рассчитывает статьи агрегированного баланса, позволяющие проанализировать финансовое положение НПЗ и его изменение в расчетных периодах. Динамика активной и пассивной частей баланса отображена графически на рис. 5 и 6 соответственно.

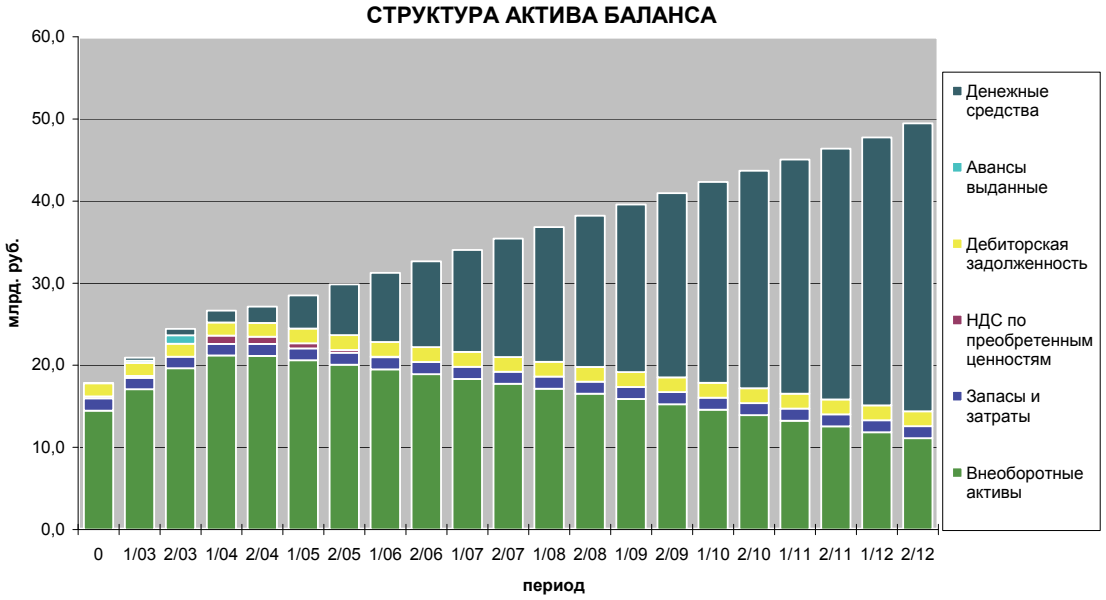


Рис. 5

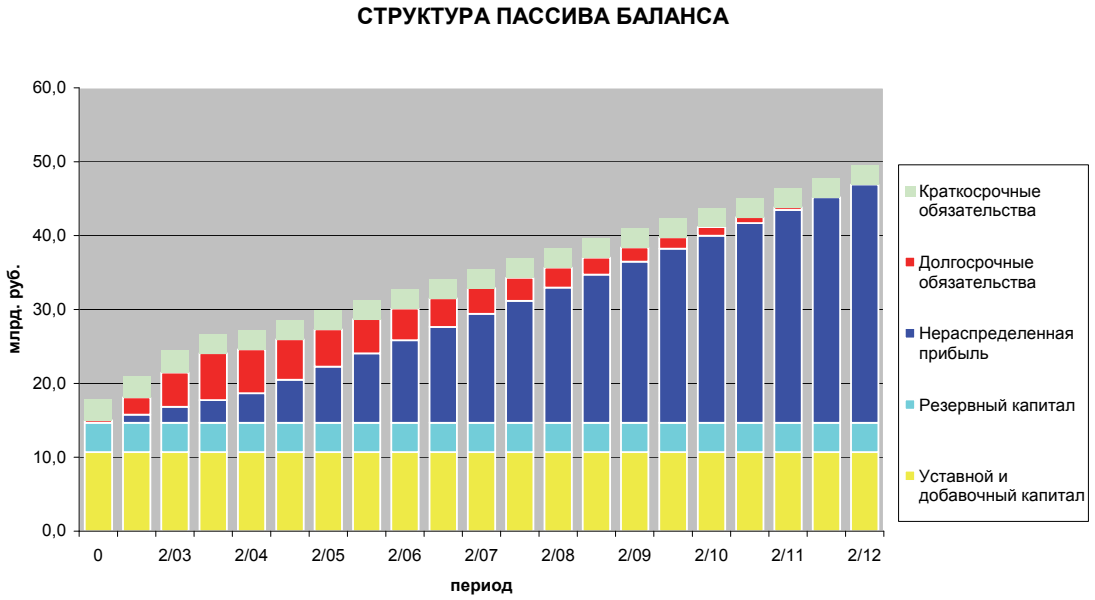


Рис. 6

По проекту период окупаемости с учетом дисконтирования денежных потоков составляет 8,6 для инвестированного и 5,2 года – для собственного капитала.

Чистый дисконтированный доход характеризует превышение суммарных денежных поступлений, связанных с реализацией инвестиционного проекта, над суммарными затратами на него и вычисляется как сумма дисконтированного потока чистых платежей на расчетном промежутке времени Т, который для проекта равен 10 лет.

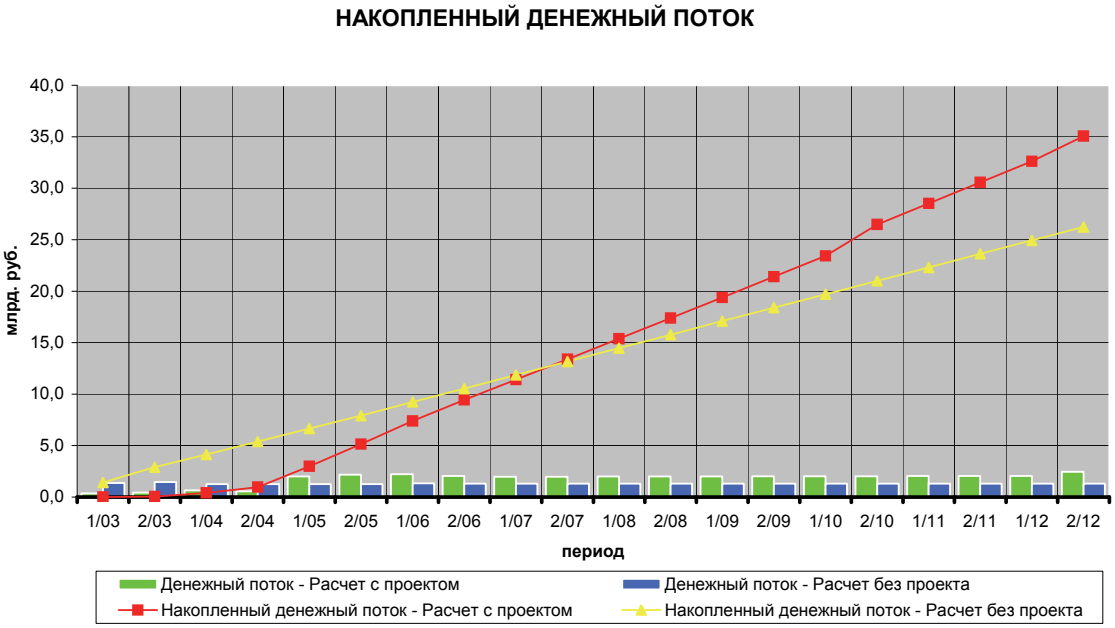


Рис. 7

В расчетах учтены денежные потоки в постпрогнозный период. Модель Гордона позволяет получить грубую оценку суммы дисконтированных денежных потоков, которые ожидаются в постпрогнозный период.

Предложенный подход, модели и методы используются на практике, в частности, ЗАО «Хоневелл» при разработке технико-экономических обоснований и бизнес-планов инвестиционных проектов и программ развития и реконструкции предприятий нефтеперерабатывающих и нефтехимических отраслей промышленности [4].

Данный подход позволяет построить комплекс оптимизационно-имитационных моделей предприятия с учетом различных технологических схем производства продукции и финансовых особенностей его работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Цвиркун, А. Д.* Анализ инвестиций и бизнес-план: Методы и инструментальные средства / А. Д. Цвиркун, В. К. Акинфиев. – М.: Издательство «Ось-89», 2002. – 288 с.

2. *Акинфиев, В. К.* Управление развитием интегрированных промышленных компаний: теория и практика (на примере черной металлургии) / В. К. Акинфиев. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 224 с.

3. *Цвиркун, А. Д.* Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем (оптимизационно-имитационный подход) / А. Д. Цвиркун, В. К. Акинфиев, В. А. Филиппов. – М. Наука, 1985.

4. *Соркин, Л. Р.* Методология разработки крупномасштабных проектов развития предприятий нефтепереработки / Л. Р. Соркин // Управление развитием крупномасштабных систем / под ред. проф. А. Д. Цвиркуна. – М.: Физматлит. – 2012. – С. 313–331.

УДК 681.518.5

В. С. Богданов, С. В. Богданов

ИНВАРИАНТЫ И ТЕНЗОРНЫЕ ИНВАРИАНТЫ СЕТЕЙ

Волгоградский государственный технический университет
Bogdanov-vik-tor@yandex.ru

На протяжении последних двадцати лет вновь просыпается интерес к тензорным методам расчета сложных систем, в том числе и компьютерных сетей. В основе этих методов лежит использование инвариантных свойств объектов и сетей. В силу плохой освещенности данного вопроса, в статье проведен обзор описанных в доступной литературе на сегодняшний день инвариантов и тензорных инвариантов компьютерных сетей.

Ключевые слова: теория инвариантности, инварианты, инварианты сетей, тензорные инварианты сетей, тензорный анализ сетей, Габриэль Крон.

V. S. Bogdanov, S. V. Bogdanov

NET INVARIANTS AND TENSOR INVARIANTS

Volgograd State Technical University

In duration last 20 year, we can see how awaking an interest to methods tensor computation of complicated systems, including computer nets. At the heart of these methods they have using invariant properties of objects and nets. In this article we now give a review of utilization net invariants and tensor invariants of computer nets that are known in accessible literature.

Keywords: invariants, invariant theory, net invariants, net tensor invariants, tensor analysis of networks, Kron Gabriel.

Термин «инвариантность» имеет очень большую смысловую перегрузку. Под *инвариантностью*, в самом общем случае, понимается неизменность и независимость чего-то от происходящих изменений другого чего-то, влияющего на наш объект рассмотрения [3]. Инварианты – это величины, характеризующие параметры объекта, остающиеся неизменными при изменениях внешней среды объекта и внутренних изменениях объекта. Инварианты могут быть как простыми величинами (например, напряжение стабилизации стабилитрона), так и сложными вычислимыми функциями, включающими в свой состав несколько величин.

Если придерживаться общепринятого строгого определения инвариантов, то согласно БСЭ [1], инварианты (*от лат. invariant, род. пад. invariantis – неизменяющийся*) – числа, алгебраические выражения и другие математические сущности, характеризующие рассматриваемый объект и остающиеся неизменными при преобразованиях этого объекта или системы отсчета, в которой описывается данный объект [1]. Если для этого объекта выражение для параметра $f(x_1, x_2, ..., x_n)$ не зависит от системы отсчета, т. е. выполняется соотношение $f(x_1, x_2,..., x_n) = f(x'_1, x'_2,..., x'_n)$, то такой параметр и ему подобные называются *инвариантами* [1].

В [12] дано следующее определение тензорных инвариантов: инварианты – скалярные функции тензорных переменных, независимые от выбора координатной системы.

Теория инвариантов зародилась в первой половине 18-го века и особенно сильное развитие получила в его второй половине. Окончательное ее завершение (в рамках актуальных задач того времени) было осуществлено Д. Гильбертом в конце 19-го века [11]. В то время основной интерес математиков был прикован к линейным формам. Системы таких форм рассматривались как целые рациональные функции от коэффициентов этих форм. Поэтому изучению подвергались целые рациональные инварианты, каждый из которых выражается через эти функции. Тогда рассматривались инварианты двух видов – алгебраические и проективные инварианты. Эта теория была тесно связана с теорией представлений математических групп [3]. Группы ортогональных преобразований рассматриваются в евклидовой геометрии, изометрических преобразований – в изометрической геометрии, аффинных преобразований – в аффинной геометрии, проективных преобразований – в проективной геометрии, дифференциальных преобразований – в дифференциальной геометрии, топологических преобразований – в топологии. У каждой такой группы преобразований имеются свои специфические инварианты.

А. Эйнштейн назвал эти инвариантные величины «тензорами», а Схоутен – «геометрическими объектами». Все три понятия – «тензор», «инвариант» и «геометрический объект» – могут рассматриваться как синонимы [5]. Для описа-

ния объектов при использовании тензорного метода применяются тензоры-объекты и тензоры преобразования. Тензор преобразования (соединения) – посредник между двумя системами координат. Так как такого объекта, как «система координат» в природе нет, то это понятие вводится для облегчения описания объекта. Тензор соединения, таким образом, служит для установления связи между двумя или несколькими различными способами описания одного и того же объекта. При описании одного и того же объекта тензором и матрицей, между такими описаниями имеются различия. Матричное описание характеризует фиксированное значение объекта для выбранного момента времени, а тензорное – позволяет получить описание объекта для всех моментов времени и, следовательно, является более общим [5]. Поэтому матрица, описывающая объект, сама не является инвариантным объектом. Часто при решении практических задач встречаются случаи, когда приходится производить большое количество однотипных вычислений применительно ко многим схожим объектам (типичная ситуация для компьютерных сетей). Поэтому применение тензорных методов приводит к сокращению объема вычислений, позволяет эффективно использовать компьютерные методы, и запись производимых манипуляций становится наиболее краткой и наглядной.

После своего создания теория инвариантов стала применяться в геометрии, алгебре, топологии, теории групп, теории чисел и других разделах математики. Затем она стала использоваться в технике и прикладных дисциплинах.

Следует отметить, что инварианты не могут существовать сами по себе, без соответствующего носителя. Он может быть назван инвариантным объектом. Различные объекты исследования имеют ряд параметров (характеристик, величин). Все параметры объекта не могут и не должны быть инвариантами, так как часть этих параметров изменяется при изменениях окружающей среды, а другая часть нет. Объекты, носители инвариантных величин, могут выступать в роли источников воздействий (напряжение на выходе микросхемы) или сами подвергаться воздействию со стороны других объектов и окружающей среды, или испытывать воздействие процессов, протекающих внутри объекта (разряд внутренней батареи питания и т. п.). Инварианты могут быть строгими и нестрогими, т. е. инвариантами с неточностью, когда изменение соответствующей величины не превышает заданного допуска на ее номинальное значение. Инварианты могут быть простыми параметрами, а могут определяться из формулы, связывающей функциональной зависимостью несколько переменных. Так как параметры объектов в реальном мире не могут постоянно оставаться неизменными, то для реальных объектов интервал времени сохранения инвариантных свойств объекта должен быть не менее времени его эксплуатации, т. е. объект – это носитель своих свойств, для которого некоторые параметры могут быть инвариантами. Инвариантные свойства объектов могут проявляться в любых системах – технических, социальных, биологических, химических и т. д.

Рассмотрим примеры некоторых инвариантов, используемых в разных областях науки и техники. В физике под инвариантностью, прежде всего, понимаются различные законы сохранения – закон сохранения энергии, массы, заряда (и т. п.); в социальной сфере – равенство всех перед законом. В теории автоматического управления (ТАУ) под инвариантными системами подразумеваются системы, выходная координата которых не зависит от воздействия помех, т. е. выходной вектор здесь – инвариантен относительно вектора помех [13]. Как видно из вышеизложенного, инвариантные системы, рассматриваемые в ТАУ, являются частным случаем систем, использующих свойства инвариантов. В динамических системах инвариантами называют характеристики, остающиеся неизменными при допустимых преобразованиях этих систем [5]. В биологии нормальная температура человеческого тела – инвариант. В математике инвариантом называется все то, что остается неизменным при некоторых преобразованиях математических объектов (так, длина вектора инвариантна к ортогональным преобразованиям декартовой системы координат), в лингвистике – абстрактная неизменная структурная единица языка (фонема, морфема, граммема, лексема и т. п.) и так далее, до бесконечности.

Примеры используемых инвариантов в конкретных технических приложениях: скалярное произведение двух векторов или тензоров; длина вектора; собственные числа матриц; ранг системы векторов; аффинное преобразование, переводящее эллипсы в эллипсы и сохраняющее отношение длин и площадей (эти отношения являются его инвариантами); мощность,

развиваемая силой; работа, производимая силой; первые интегралы уравнений движения небесных тел (например, полукубический и секториальный инварианты; масса тела в нерелятивистких условиях и т. п.) Ранг системы векторов является инвариантом по отношению к произвольному линейному преобразованию пространства. Дискриминант квадратного уравнения не меняет знака при линейной замене переменной. Количество информации, кибернетическая мощность – также инварианты.

Общая идея применения теории инвариантов при решении прикладных задач состоит в том, что необходимо описать группу допустимых преобразований нужных величин рассматриваемой задачи и отыскать ее инварианты [3]. Исследования дифференциальных инвариантов в области дифференциальной топологии привели к появлению тензорного исчисления и, в дальнейшем, тензорного анализа [14]. Принципы тензорного исчисления и использование инвариантов помогли Габриэлю Крону создать дискретный тензорный анализ сетей и науку диакоптику [3].

При проведении векторных и тензорных методов расчета наибольший интерес представляют именно инварианты – величины, не изменяющиеся при преобразованиях системы координат. Каждое открытие нового инварианта всегда было событием в науке. В инвариантной записи уравнений отсутствует в явной форме указание на размерность используемого пространства. Объекты и сети, составленные из совокупности своих элементов, характеризуются составом частей, входящих в сеть, параметрами этих частей и структурой сети. При изменении параметров объектов сеть с измененными параметрами легко пересчитывается многими существующими методами. При замене объектов на другие в расчетных формулах изменяются лишь числовые значения констант и переменных, и расчет системы после изменения остается тривиальным. При изменении же структуры сетей меняется число переменных величии, и меняются уравнения (в том числе и их количество), описывающие систему. Поэтому приходится осуществлять новую постановку задачи, составлять математическое описание новой системы и затем заново производить решение модифицированной задачи. А. Е. Петров указал, что «на сегодня не существует математических теорий и методов расчета «изменений процессов при изменении структур, кроме тензорных методов» [5]. Габриэль Крон в свое время предложил метод расчета сетей, который позволил использовать ранее неизвестные инвариантные свойства этих сетей [2]. Предложенный им метод позволил рассчитывать сети в самом общем случае – при одновременном изменении как параметров, так и структуры сети. Его метод основывался на инвариантности значения мгновенной мощности сети. В нормально работающей сети, количество входящей в нее в единицу времени информации равно количеству выходящей. Подход Крона основан на линейных свойствах преобразования сетей и на том, что вся совокупность получаемых сетей при их преобразованиях образует группу, для которой величина мощности постоянна для всех структурных и параметрических преобразований. В общем случае, состав задач инвариантов определяется как составом исследуемых объектов, так и составом используемых преобразований над множеством элементов, где каждое из преобразований представляет собой группу [8]. Инварианты компьютерной сети определяют ее свойства, не зависящие от ее частной конфигурации – структурной и параметрической. Тензорные инварианты сетей – инвариантные величины, имеющие тензорную природу.

Выявление инвариантов сетей может быть проведено следующим образом. Выявляются параметры и переменные, которые могут влиять на объекты сетей, связи между ними и процессы, протекающие в сетях. Для сети с резиновой топологией инвариантами будут: количество узлов в сети; количество ветвей в сети, сумма узлов и ветвей в сети; равенство входящих и выходящих информационных потоков и др. Так, равенство входящих и исходящих информационных потоков, распространяющихся в сети, удобно рассматривать в виде информационных мощностей. В нормально работающих сетях, предназначенных для передачи информации, суммарное количество входящей и исходящей информации должно быть одинаковым:

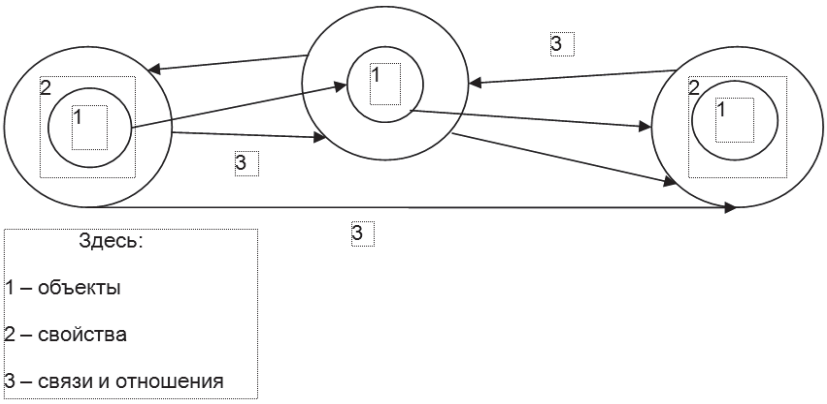
$$W_{\text{вх}} = W_{\text{исх}}.$$

Как в электрических, так и в информационных сетях, сумма мощностей в прямой и ортогональной сетях будет инвариантом [5].

По отношениию к компьютерным сетям, инвариантность может присутствовать и применяться в следующих ситуациях, местах и про-

цессах: в особенностях путей передачи пакетов; содержания пакетов; топологии сетей; параметров сетей (свойства тензоров и др.); в инвариантности характеристик статистического распределения информации; в инвариантности свойств тензорного описания сетей; в постоянстве информационной мощности в цепи передачи данных; в устранении помех, возникающих в сетях передачи данных; для осуществления эффективной балансировки трафика; для осуществления получения оптимальных временных характеристик при передаче трафика; для устранения петель в топологии сетей; для повышения эффективности анализа трафика на основе корреляции сигналов, передающимся по двум путям, при дуплексной схеме передачи информации; билинговые системы, инвариантные к виду трафика.

Инвариантность объекта или системы может рассматриваться как их способность нормально функционировать при изменении целого спектра внешних и внутренних условий и дестабилизирующих факторов в широком диапазоне. Инвариантами обычно являются попарные произведения последовательных и параллельных переменных [5]. Такие инварианты являются законами сохранения. Таким образом, изучение любой системы, с какой бы целью оно не проводилось (анализ, моделирование, управление, редукция), следует начинать с отыскания ее инвариантов.



Взаимосвязь носителей инвариантов

Инварианты могут выступать в качестве: объектов; параметров объектов; процессов; параметров процессов; неизменность свойств системы относительно времени неизменность: массы золотого слитка с течением времени, частоты цезиевого эталона времени, коэффициента усиления усилителя напряжения); неизменность свойств системы при ее тиражировании; неизменность свойств системы при изменении ее топологии; результата взаимодействия чего-то с чем-то; функций, зависимостей между переменными (в частности, отношения или суммы двух величин) и т. п.

Так как развитие сетей, в том числе компьютерных сетей связи, неуклонно движется в сторону увеличения их мобильности и учащения случаев изменений их параметров и структуры, то очевидно, что, несмотря на существующие трудности, проводить расчет таких сетей все равно приходится и придется. В настоящее время тензорный метод расчета сетей – пока что единственный метод, отвечающий почти всем предъявляемым к нему требованиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Большая советская энциклопедия [Электронный ресурс]. – 2013 – Режим доступа: http://dic.academic.ru/contents.nsf/bse/

2. *Крон, Г.* Тензорный анализ сетей : пер. с англ. / Г. Крон; под ред. Л. Т. Кузина, П. Г. Кузнецова. – М.: Сов. Радио, 1978. – 720 с.

3. *Мироновский, Л. А.* Инварианты математических моделей : Текст лекций / Л. А. Мироновский ; ЛИАП. – Л., 1991. – 32 с.: ил.

4. *Спенсер, Э.* Теория инвариантов / Э. Спенсер ; пер. с англ. А. И. Державиной ; под ред. В. В Лохина. – М.: Мир, 1974. – 158 с.

5. *Петров, А. Е.* Тензорный метод двойственных сетей / А. Е. Петров. – М.: Центр информационных технологий в природопользовании, 2007. – 496 с.: ил.

6. *Попков, В. В.* Концепция двойственности и устойчивое развитие / В. В. Попков // Четвертая Всероссийская конференция по проблемам эконофизики и эволюционной экономики, 21–30.11.2006 г. Тема конференции – «Устойчивое развитие и целостность экономических систем».

7. *Гуревич, Г. Б.* Основы теории алгебраических инвариантов / Г. Б. Гуревич. – М.-Л.: Гостехиздат, 1948. – 408 с.

8. *Вейль, Герман.* Классические группы, их инварианты и представления; пер. с англ. / Герман, Вейль. – М.: Гос. изд-во иностр. лит., 1947. – 404 с.

9. *Спрингер, Т.* Теория инвариантов / Т. Спрингер. – М.: Мир, 1981. – 191 с.

10. *Крафт, Х.* Геометрические методы в теории инвариантов / Х. Крафт. – М: Мир, 1987. – 312 с.

11. Theory of algebraic invariants / *David Hilbert*; translated by Reinhard C. Laubenbacher; edited and with an introduction by Bernd Sturmfels. English translation Cambridge University Press 1993. Includes bibliographical references. Printed in the United States of America. Published by the Press Syndicate of the University of Cambridge. – P. 191.

12. *Daniel B. Ennis* and *Gordon Kindlmann*. Orthogonal Tensor Invariants and the Analysis of Diffusion Tensor Magnetic Resonance Images. Magnetic Resonance in Medicine 55:136-146 (2006).

13. *Менский, Б. М.* Принцип инвариантности в автоматическом регулировании и управлении / Б. М. Менский. – М.: Машиностроение, 1972. – 248с.: ил.

14. *Петров, А. Е.* Тензорная методология в теории систем / А. Е. Петров. – М.: Радио и связь, 1985. – 152 с.

УДК 66-93

А. Б. Голованчиков, Н. А. Дулькина, Ю. В. Аристова, Н. Н. Дикарева

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА С ДИФФУЗИОННОЙ СТРУКТУРОЙ ПОТОКА ДЛЯ РЕАКЦИИ *n*-го ПОРЯДКА

Волгоградский государственный технический университет

pahp@vstu.ru

Предлагается описывать распределение молекул по времени пребывания в химическом реакторе *n*-ого порядка однопараметрической диффузионной моделью с различными структурами потоков по исходному компоненту и продукту реакции. Разработан алгоритм и проведены расчеты для предлагаемой двухкомпонентной диффузионной модели с градиентными граничными условиями.

Проведено сравнение с расчетами по типовой диффузионной модели с безградиентными граничными условиями на выходе из реактора.

Ключевые слова: двухкомпонентная диффузионная структура потоков, химический реактор, число Пекле, моделирование, градиентное граничное условие.

A. B. Golovanchikov, N. A. Dylkina, U. V. Aristova, N. N. Dikareva

MATHEMATICAL MODELING OF CHEMICAL REACTORS WITH THE DIFFUSION OF THE FLOW STRUCTURE FOR THE REACTION OF N-TH ORDER

Volgograd State Technical University

It is proposed to describe the distribution of molecular residence time in the chemical reactor *n*-th order-parameter diffusion model with different structures on the initial flow component and the reaction product. An algorithm and calculations for the proposed two-component diffusion model with linear boundary conditions.

A comparison with calculations based on the model of the diffusion model-gradient boundary conditions at the outlet of the reactor.

Keywords: two-component structure of the diffusion fluxes, chemical reactor, the Peclet number, modeling, gradient boundary condition.

Рассмотрим процесс протекания реакции *n*-ого порядка со стехиометрическим уравнением

$$nA \xrightarrow{k} B$$

и кинетическим уравнением

$$W(C_A) = -kC_A^n$$

в химическом реакторе с диффузионной структурой потока. Математическая модель такого реактора записывается в виде [1, 2]

$$\frac{1}{Pe}\cdot\frac{d^2c_a}{dx^2} = \frac{dc_a}{dx} + k\cdot\tau\cdot C_{A0}^{n-1}\cdot c_a^n, \qquad (1)$$

где $c_a = C_A / C_{Ao}$ – безразмерная концентрация исходного компонента А; C_A и C_{Ao} – соответственно текущая и начальная размерные концентрации компонента А, кмоль/м^3; Pe – число Пекле продольной диффузии; $x=X/L$ – безразмерная координата длины реактора; X и L – соответственно текущая координата длины и длина реактора, м; k – константа скорости реакции, с$^{-1}$; n – порядок реакции; τ – среднее время пребывания, с.

Дифференциальное неоднородное уравнение (1) II порядка для типовой диффузионной модели структуры потоков в настоящее время решается при следующих граничных условиях:

при $x = 0$ $\qquad 1 = c_{ан} - \frac{1}{Pe}\left(\frac{dc_a}{dx}\right)_{x=0}$; $\qquad (2)$

при $x = 1$ $\qquad \left(\frac{dc_a}{dx}\right)_{x=1} = 0.$ $\qquad (3)$

Первое граничное условие (2) выводbтся аналитически на основании материального баланса на входе в реактор, а второе, так называемое безградиентное граничное условие, яв-

ляется приближенным, так как оно справедливо для реакторов идеального смешения Pe $\to 0$ ($D_l \to \infty$, где $-D_l-$ коэффициент продольной диффузии), или при больших значениях произведение параметров $k\tau$, когда степень конверсии $\chi \to 1$[3÷5].

Выведем аналитически градиентное граничное условие для дифференциального уравнения (1) на выходе из реактора.

Обозначим градиент концентрации компонента А $g_a = \dfrac{dc_a}{dx}$ и, проинтегрировав левую и правую часть уравнения (1) в пределах $0 \le x \le 1$, получаем выражение:

$$\frac{1}{Pe}\left(g_{ak} - g_{ан}\right) = c_{ak} - c_{ан} + k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \int_0^1 c_a^n \cdot dx.$$

Сгруппируем члены последнего уравнения следующим образом:

$$c_{ан} - \frac{1}{Pe} g_{ан} = c_{ak} - \frac{1}{Pe} g_{ak} + k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \int_0^1 c_a^n \cdot dx.$$

Так как левая часть равенства равна единице (2), то получаем равенство единице для правой части

$$c_{ak} - \frac{1}{Pe} g_{ak} + k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \int_0^1 c_a^n \cdot dx = 1. \qquad (4)$$

Представим уравнение (1) в численном виде:

$$\frac{1}{Pe}\left(g_{ai} - g_{ai-1}\right) = c_{ai} - c_{ai-1} + k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \Delta x c_{ai-1}^n.$$

Тогда градиент концентрации для i-й итерации может быть записан в виде:

$$g_{ai} = g_{ai-1} + \left(c_{ai} - c_{ai-1}\right) Pe \cdot + ,$$
$$+ k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \cdot Pe\left(\Delta x\right) c_{ai}^n, \quad (5)$$

а концентрация:

$$c_{ai} = c_{ai-1} + g_{ai-1} \Delta x, , \qquad (6)$$

где $\Delta x = 1/m$, а m – число интераций по длине реактора.

Алгоритм расчета дифференциального уравнения (1) с градиентными граничными условиями и численными уравнениями (5) и (6) может быть следующим:

1. Задаемся относительной начальной концентрацией $c_{ан}$ в пределах $c_{ac} < c_{ан} < 1$, где c_{ac} – безразмерная концентрация в реакторе идеального смешения (РИС), которая определяется из решения математической модели

РИС [6] $\qquad \tau = \dfrac{1 - c_{ac}}{k C_{Ao}^{n-1} c_{ac}^n}.$

2. Из граничного условия (2) определяем градиент $g_{ан} = \left(c_{ан} - 1\right) Pe.$

3. Обозначаем $c_{ai-1} = c_{ан}$ и $g_{ai-1} = g_{ан}$.

4. По уравнению (6) определяем c_{ai}.

5. По уравнению (5) определяем g_{ai}.

6. Делаем переадресовки $c_{ai-1} = c_{ai}$ и $g_{ai-1} = g_{ai}$.

7. Повторяем расчеты по пунктам алгоритма (4–6) m раз, при этом отдельно накапливаем численное значение суммы:

$$S = k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \cdot \left(\Delta x\right) \sum_{i=1}^{j} c_{ai}^n .$$

8. Определяем после m-интераций $c_{am} = c_{ak}$, $g_{am} = g_{ak}$ и $S_k = k \cdot \tau \cdot C_{A0}^{n-1} \cdot \left(\Delta x\right)^2 \sum_{j=1}^{m} c_{aj}^n$.

9. Проверяем выполнение градиентного граничного условия (4) с заданной точностью.

10. Варьируя $C_{ан}$ по пункту 1 алгоритма в указанных в этом пункте границах, например, методом половинного деления, находим такое $C_{ан}$ и соответственно $g_{ан}$, при котором выполняется граничное условие (4).

11. Алгоритм для расчета типовой диффузионной модели с граничным условием на выходе (2) и безградиентным граничным (3) может повторять пункты (1–6) вышеописанного алгоритма, при этом расчеты с варьированием $C_{ан}$ по пункту 10 заканчиваем, когда $g_{am} = g_{ak} = 0$ [7].

Результаты сравнительных расчетов реакторов предлагаемой диффузионной модели по предлагаемому алгоритму – в табл. 1 и 2. Нужно отметить, что проверка программ осуществлялась при сравнении получаемых по ним результатов расчетов относительных конечных концентраций C_{ak} с результатами аналитических расчетов для n = 1, так как уравнение (1) имеет аналитическое решение для первого порядка реакции [5].

При n=1 аналитическое решение уравнения (1) с граничными условиями (2) и (3) приводит к следующим значениям относительных конечных концентраций:

Pe=0,1, c_{ak} = 0,1899;

Pe=1, c_{ak} = 0,1326 .

Как видно из табл. 1, при n = 1 расчетные значения относительной конечной концентрации по приведенному выше алгоритму типовой диффузионной модели (обозначены звездочкой) отличаются от аналитических расчетов этого параметра на 0,4 %.

Таблица 1

Зависимость относительной конечной концентрации компонента А от порядка реакции *n* при различных значениях числа Пекле для $k\tau = 4$ и $C_{A0} = 5$

Pe=0,1

Значения относительной конечной концентрации в диффузионной модели	Порядок реакции					
	0,1	0,5	1	1,5	2	3
Предлагаемой с граничными условиями (2) и (4)	0,1886	0,1913	0,1895	0,1890	0,1865	0,1884
Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,1886	0,1900	0,1891*	0,1887	0,1886	0,1885
Реакторе идеального вытеснения	0,0076	0,0112	0,0183	0,0334	0,0476	0,0705
Реакторе идеального смешения	0,2	0,1992	0,1992	0,2002	0,2001	0,2001

Pe=1

Значения относительной конечной концентрации в диффузионной модели	Порядок реакции								
	0,1	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2**	3
Предлагаемой с граничными условиями (2) и (4)	0,1751	0,1541	0,1390	0,1329	0,1309	0,1305	0,1305	0,1320	0,1380
Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,1726	0,1534	0,1396	0,1343	0,1323*	0,1320	0,1325	0,1346	0,1400

Предлагаемая диффузионная модель с граничными условиями (2) и (4) может как завышать, так и занижать результаты расчетов относительной конечной концентрации c_{ak}, но это отличие не превышает 0,1 % по абсолютной величине.

Так, при числе Пекле Pe=1 и порядке реакции $n = 2$ наибольшее отклонение составляет по абсолютной величине 0,0026 (обозначено двумя звездочками), что в процентах менее 2 %.

Последнее объясняется, прежде всего, отличием граничных условий (3) и (4) в предлагаемой и типовой диффузионной модели, ну и частично, как показано выше, накоплением ошибки при численных расчетах по сравнению с расчетами аналитическими. Однако градиенты относительных концентраций на выходе из реактора $\left(\frac{dc_a}{dx}\right)_{x=1}$ в предлагаемой диффузионной модели с граничными условиями (2) и (4) лежат в пределах $10^{-3} \div 10^{-4}$, то есть близки к нулю, а это – граничное условие (3) в типовой диффузионной модели. Поэтому результаты расчетов относительной конечной концентрации компонента А по обеим моделям практически совпадают. Это подтверждают и результаты расчетов, зависимости относительных конечных концентраций компонента А от параметра $k\tau$, пропорционального объему реактора при одинаковых значениях чисел Пекле, и порядка реакции и постоянном значении начальной концентрации $C_{A0} = 5$, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость относительной конечной концентрации компонента А от параметра $k\tau$ при Pe=1, $C_{A0} = 5$

$n = 0,5$

Значения относительной конечной концентрации в диффузонной модели	$k\tau$						
	0,5	1	2	3	4	5	10
1. Предлагаемой с граничными условиями (2) и (4)	0,8837	0,770	0,553	0,352	0,175	0,0403	–
2. Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,8832	0,768	0,548	0,348	0,173	0.0395	–
3. Реакторе идеального вытеснения	0,8830	0,766	0,543	0,327	0,125	–	–
4. Реакторе идеального смешения	0,8838	0,771	0,558	0,363	0,199	0,0820	–

Окончание табл. 2

Значения относительной конечной концентрации в диффузонной модели	$k\tau$						
	0,5	1	2	3	4	5	10
							$n = 0,1$
1. Предлагае-мой с граничными условиями (2) и (4)	0,797	0,631	0,389	0,235	0,1390	0,0794	–
2. Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,793	0,628	0,388	0,235	0,1396	0.086	–
3. Реакторе идеального вытеснения	0,798	0,602	0,306	0,108	0,0111	0,0083	–
4. Реакторе идеального смешения	0,801	0,641	0,422	0,285	0,199	0,199	–
							$n = 1$
1. Предлагаемой с граничными условиями (2) и (4)	0,651	0,466	0,278	0,185	0,130	0,0968	0,0302
2. Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,649	0,465	0,278	0,186	0,132	0,0983	0,0314
3. Реакторе идеального вытеснения	0,606	0,367	0,135	0,0497	0,0183	0,0068	$4,69\cdot10^{-5}$
4. Реакторе идеального смешения	0,666	0,5	0,334	0,250	0,1992	0,1660	0,0908
							$n = 1,5$
1. Предлагаемой с граничными условиями (2) и (4)	0,514	0,360	0,228	0,166	0,130	0,107	0,0525
2. Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,513	0,360	0,229	0,168	0,132	0,109	0,0553
3. Реакторе идеального вытеснения	0,411	0,223	0,095	0,053	0,033	0,023	0,0067
4. Реакторе идеального смешения	0,547	0,410	0,292	0,235	0,200	0,176	0,1160
							$n = 2$
1. Предлагаемой с граничными условиями (2) и (4)	0,415	0,298	0,203	0,159	0,1316	0,1137	0,0687
2. Типовой с граничными условиями (2) и (3)	0,416	0,299	0,205	0,161	0,1316	0,1164	0,0723
3. Реакторе идеального вытеснения	0,285	0,166	0,091	0,062	0,0476	0,0385	0,0196
4. Реакторе идеального смешения	0,463	0,358	0,270	0,226	0,200	0,1810	0,1320

Как видно из результатов расчетов, приведенных в табл. 1 и 2, во всех рассматриваемых диапазонах изменения порядка реакции и параметра $k\tau$, пропорционального объему реактора, относительные конечные концентрации по предлагаемой диффузионной модели с граничными условиями (2) и (4) и типовой с граничными условиями (2) и (3) отличаются не более чем на 2 %, и эти отклонения увеличиваются с ростом порядка реакции n.

Расхождения в расчетах по параметру $k\tau$ зависят от числа Ре и растут с его увеличением идеального вытеснения, но эти расхождения такие же незначительные, и это связано с тем, что численные значения градиентного граничного условия на выходе из реактора (4) являются отрицательными, но близкими к нулю, то есть практически не отличаются от безградиентного условия (3) типовой диффузионной модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Левеншпиль, О.* Инженерное оформление химических процессов / О. Левеншпиль. – М.: Химия, 1969. – 624 с.

2. *Кафаров, В. В.* Методы кибернетики в химии и химической технологии / В. В. Кафаров. – М.: Химия, 1976. – 464 с.

3. *Голованчиков, А. Б.* Моделирование структуры потоков в химических реакторах / А. Б. Голованчиков, Н. А. Дулькина ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – 240 с.

4. *Тябин, Н. В.* Методы кибернетики в реологии и химической технологии: учеб. пособие / Н. В. Тябин, А. Б. Голованчиков. – Волгоград, 1983. – 104 с.

5. *Денбиг, К. Г.* Теория химических реакторов / К. Г. Денбиг. – М.: Наука, 1968. – 191 с.

6. *Голованчиков, А. Б.* Моделирование химических реакторов с различными структурами потоков и уровнями сегрегации по реагирующим компонентам / А. Б. Голованчиков, Н. А. Дулькина, Ю. В. Аристова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 11(84) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 12). – С. 12–15.

7. *На, Ц.* Вычислительные методы решения прикладных граничных задач / Ц. На. – М.: Мир, 1982. – 127 с.

УДК 681.586:621.37

В. К. Михайлов, И. А. Плешаков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА ПО ЕГО ПЕРЕХОДНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Волгоградский государственный технический университет

ephys@vstu.ru

Рассмотрены вопросы определения структурных параметров выбранных тепловых моделей термокамеры по ее переходным характеристикам при включении в момент t=0 источника тепла постоянной мощности.

Ключевые слова: алгоритм управления, тепловая модель термокамеры, переходные характеристики.

V. K. Mikhailov, I. A. Pleshakov

DETERMINATION OF PARAMETERS THE OBJECT STRUCTURE BY MEANS OF ITS TRANSITIVE CHARACTERISTICS

Volgograd State Technical University

The problems of definition the structural parameters of the chosen models of a heat-chamber by its transitive characteristics are considered at inclusion in the time t=0 a source with constant heat power.

Keywords: algorithm of a control, model of a heat-chamber, transitive characteristics.

1. Введение

При изложении принципа формирования управляющей функции для двух различных моделей термокамеры [1–4] предполагалось, что все структурные параметры этих моделей, т. е. теплоемкости эквитемпературных тел C_1 и C_2 и теплопроводности оболочек λ_1 и λ_2 – известны. Но на самом деле их так или иначе надо предварительно определять, или хотя бы оценить приближенно, с тем чтобы потом их можно было скорректировать или уточнить путем оптимизации по какому-либо качеству управления (например, по средней точности за весь цикл управления).

На примере тех же двух простых моделей термокамеры [1, 2] рассмотрим метод экспериментального определения их параметров C_1 , C_2, λ_1 и λ_2, основанный на возможности измерения текущих температур каждого эквитемпературного тела, т. е. в данном случае – температур T_1 и T_2. Для этого наиболее удобно исследовать вид кривых $T_1(t)$ и $T_2(t)$ в переходном режиме работы камеры, т. е. проследить за поведением $T_1(t)$ и $T_2(t)$ при t>0, если в момент t=0 включен источник тепла постоянной мощности q.

2. Определение параметров структуры термокамеры с прямым подогревом

Пусть в термокамере используется внутренний, или прямой подогрев, т. е. подогрев от источника тепла мощностью q, установленного непосредственно внутри рабочего объема камеры. Тогда в качестве простейшей ее модели можно взять модель второго порядка, показанную на рис. 1, *а*.

На рис. 1, *б* показан соответствующий такой модели тепловой граф. На основе этого графа легко составить уравнения теплового баланса для тел C_1 и C_2, в левых частях которых записываются скорости приращения тепла в каждом из этих тел. а в правых – положительные и отрицательные тепловые потоки, дающие этот прирост. Эти уравнения являются обыкновенными дифференциальными первого порядка и для каждого из этих тел имеют вид:

$$\left.\begin{aligned} C_1\frac{dT_1}{dt} &= q-\lambda_1(T_1-T_2),\\ C_2\frac{dT_2}{dt} &= \lambda_1(T_1-T_2)-\lambda_2(T_2-T_0),\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где мощность источника q=const и известна.

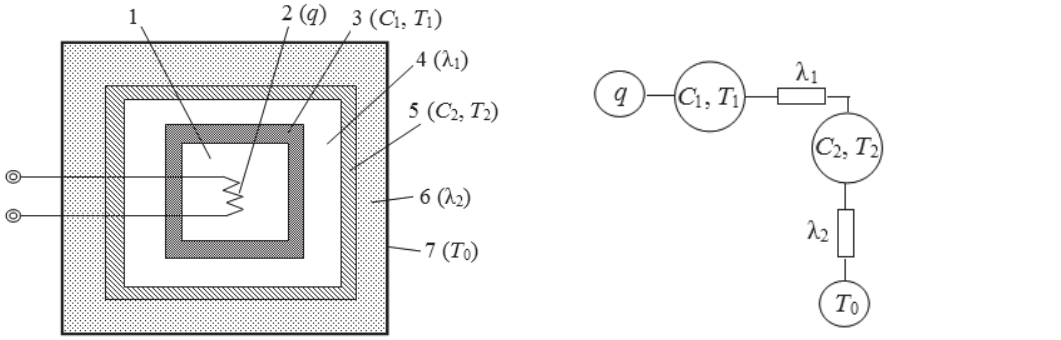
Начальные условия для этих уравнений при t=0 следующие:

$$T_1(0)=T_2(0)=T_0=0. \qquad (2)$$

Здесь, как и ранее [1, 2], отсчет температур T_1 и T_2 ведется от температуры окружающей среды T_0, которую для простоты полагаем равной нулю. Из уравнений (1) и начальных условий (2) следует, что сразу после включения источника, т. е. при t =+0,

$$\dot{T}_1(0) = q / C_1, \qquad (3)$$

$$\dot{T}_2(0) = 0. \qquad (4)$$



а *б*

Рис. 1. Модель термокамеры с источником внутри рабочего объема (*а*) и ее тепловой граф (*б*): *1* – рабочий объем; *2* – нагреватель мощностью q [Дж/с], обдуваемый вентилятором; *3* – металлическая оболочка рабочего объема (T_1 [К] – ее температура; C_1 [Дж/К] – ее теплоемкость); *4* – воздушная прослойка (λ_1 [Дж/(К·с)] – ее теплопроводность); *5* – внутренняя металлическая оболочка (T_2 [К] – ее температура; C_2 [Дж/К] – ее теплоемкость); *6* – теплоизолирующий слой (λ_2 [Дж/(К·с)] – его теплопроводность); *7* – внешняя стенка камеры с температурой окружающей среды T_0 [К]

Кроме того, очевидно, что при $t\to\infty$ и при ограниченной мощности источника температуры T_1 и T_2 должны асимптотически приближаться к некоторым своим установившимся значениям $T_1(\infty)$ и $T_2(\infty)$. При этом скорости их роста

$$\dot{T}_1(\infty) = \dot{T}_2(\infty) = 0. \qquad (5)$$

Величины $T_1(\infty)$ и $T_2(\infty)$ легко вычислить, подставив (5) в (1); это дает:

$$\left.\begin{aligned} T_1(\infty) &= q\left(\frac{1}{\lambda_1}+\frac{1}{\lambda_2}\right), \\ T_2(\infty) &= \frac{q}{\lambda_2}. \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

Из соотношений (2)–(6) можно сделать вывод, что графики переходных характеристик $T_1(t)$ и $T_2(t)$ будут иметь вид, показанный на рис. 2. Эти кривые можно снять экспериментально и по ним графически определить величины $\dot{T}_1(0)$, $T_1(\infty)$ и $T_2(\infty)$, а затем по формулам (2) и (6) – и три структурных параметра модели:

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= \frac{q}{\dot{T}_1(0)}, \\ \lambda_2 &= \frac{q}{T_2(\infty)}, \\ \lambda_1 &= \frac{q}{T_1(\infty)-T_2(\infty)}. \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

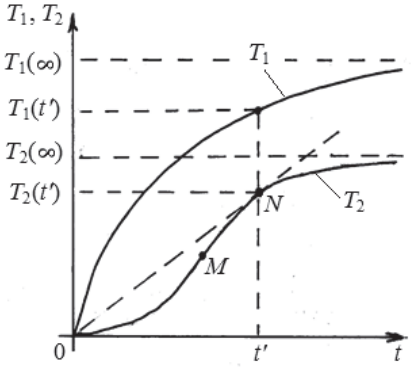


Рис. 2. Общий вид и параметры переходных характеристик для модели рис. 1

Четвертый параметр модели C_2 можно определить, например, по координатам точки перегиба на кривой $T_2(t)$, обозначенной буквой M на рис. 2. Однако точность графического определения координат точки перегиба на кривой $T_2(t)$ невелика, т. е. надежно зафиксировать эту точку нельзя, поэтому для определения C_2 лучше использовать другой, более эффективный метод. Легко зафиксировать графически на кривой $T_2(t)$ точку N такую, что производная в ней равна тангенсу угла наклона касательной, проведенной к ней из начала координат, как показано на рис. 2. Пусть координата этой точки (t', $T_2(t')$), тогда, по определению,

$$\left.\frac{dT_2}{dt}\right|_{t=t'} = \frac{T_2(t')}{t'}.$$

Подставляя это в левую часть второго уравнения (1), получаем:

$$C_2 \frac{T_2(t')}{t'} = \lambda_1 T_1(t') - (\lambda_1 + \lambda_2) T_2(t'),$$

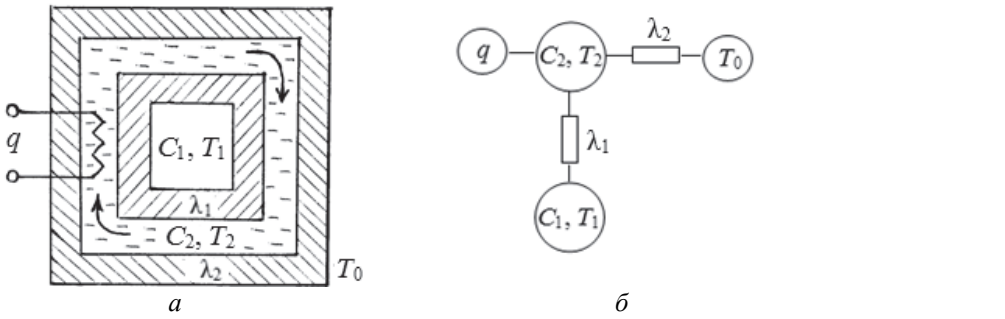
где $T_1(t')$ – температура T_1 в момент времени t' (рис. 2). Тогда четвертый искомый параметр модели

$$C_2 = t' \left(\lambda_1 \frac{T_1(t')}{T_2(t')} - \lambda_1 - \lambda_2 \right).$$

Теплопроводности λ_1 и λ_2, входящие в это выражение, определяются по формулам (7).

3. Определение параметров структуры термокамеры с косвенным подогревом

Рассмотрим теперь простейшую модель термокамеры с косвенным нагреванием рабочего объема, т. е. когда тепло от нагревателя передается непосредственно какому-либо другому телу, например, воде, которая, циркулируя по замкнутой и охватывающей рабочий объем оболочке, передает ему часть полученного тепла через теплопроводящие стенки, как показано на рис. 3, *а*. Тепловой граф, соответствующий такой модели, изображен на рис. 3, *б*.



а *б*

Рис. 3. Модель термокамеры с косвенным нагреванием рабочего объема (*а*) и ее тепловой граф (*б*): λ_1 [Дж/(К·с)] – теплопроводность стенок между водой и рабочим объемом; λ_2 [Дж/(К·с)] – теплопроводность внешних стенок камеры; T_1 [К] – температура в рабочем объеме; T_2 [К] – температура подогреваемой воды; C_1 [Дж/К] – теплоемкость рабочего объема; C_2 [Дж/К] – суммарная теплоемкость воды и тонкостенной оболочки; T_0 [К] – температура окружающей среды

Уравнения переходных характеристик данной модели при включении источника q = const в момент $t = 0$ будут такими:

$$\left.\begin{aligned} C_1 \frac{dT_1}{dt} &= \lambda_1 (T_2 - T_1), \\ C_2 \frac{dT_2}{dt} &= q - \lambda_1 (T_2 - T_1) - \lambda_2 T_2. \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

Начальные условия здесь те же, что и для рассмотренной выше модели с прямым подогревом:

$$T_1(0)=T_2(0)=T_0=0. \qquad (9)$$

Здесь, как и ранее [1, 2], отсчет температур T_1 и T_2 ведется от температуры окружающей среды T_0, которую для простоты полагаем равной нулю.

Из (9) и уравнений (8) имеем:

$$\dot{T}_1(0) = 0, \qquad (10)$$

$$\dot{T}_2(0) = q / C_2. \qquad (11)$$

Полагая в (8) $\dot{T}_1(\infty) = \dot{T}_2(\infty) = 0$, получаем установившиеся температуры

$$T_1(\infty) = T_2(\infty) = q / \lambda_2, \qquad (12)$$

т. е., в отличие от предыдущей модели, здесь они равны.

Графики переходных характеристик $T_1(t)$ и $T_2(t)$, соответствующие условиям (9)–(12), изображены на рис. 4. Экспериментально сняв эти кривые, из (11) и (12) сразу находим:

$$C_2 = \frac{q}{\dot{T}_2(0)}, \quad \lambda_2 = \frac{q}{T_1(\infty)}. \qquad (13)$$

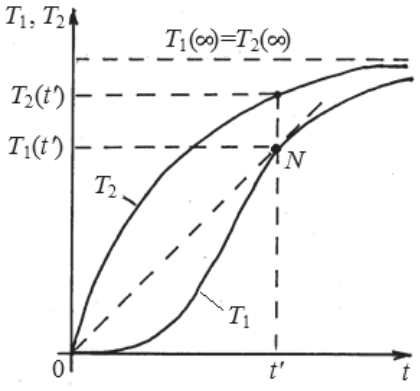


Рис. 4. Общий вид и параметры переходных характеристик для модели рис. 3

Определение остальных двух параметров – C_1 и λ_1 – из рис. 4 оказывается несколько слож-

нее и, по-видимому, не столь надежно, как C_2 и λ_2, поскольку они выражаются через производную dT_2/dt в момент t'. Действительно, записывая уравнения (8) для момента времени t', определяемого, как и ранее, условием

$$\left.\frac{dT_1}{dt}\right|_{t=t'} = \frac{T_1(t')}{t'}$$

(точка N на рис. 4), получаем систему двух уравнений относительно неизвестных C_1 и λ_1, откуда находим:

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= \frac{t'}{T_1}(q - C_2\dot{T}_2 - \lambda_2 T_2), \\ \lambda_1 &= \frac{1}{T_2 - T_1}(q - C_2\dot{T}_2 - \lambda_2 T_2). \end{aligned}\right\}$$

Температуры T_1, T_2 и производная $\dot{T}_2$ здесь вычисляются в момент t', а величины C_2 и λ_2 подставляются из (13).

Изложенный метод определения структурных параметров $\{C, \lambda\}$ по переходным характеристикам вполне может быть применим и для моделей высокого порядка, поскольку при добавлении в модель очередного эквитемпературного тела просто добавляется еще одно уравнение и еще одна характеристика $T_i(t)$, несущие информацию об искомых параметрах модели.

4. Адаптация управления

Алгоритм, описанный в статьях [1] и [2], имеет целью сформировать управление $q(t)$ такое, чтобы главная переменная, т. е. температура T_1 в рабочем объеме термокамеры, изменялась в соответствии с заданным для нее законом $\theta_1(t)$. Если при этом происходит отклонение T_1 от заданного закона, то на очередном участке управления искусственно задается *корректирующая траектория* для температуры T_1, выводящая ее на основную эталонную кривую $\theta_1(t)$ [3]. Подобные отклонения могут быть случайными, возникающими, например, при кратковременных рывках тока через нагревательный элемент в течение интервала управления, при коротком открывании дверцы термокамеры и т. д. Однако эти отклонения могут носить и систематический характер, когда ошибка $\Delta T = T_1 - \theta_1$ имеет тенденцию быть одного знака, т. е. когда камера, например, постоянно перегревается, и вследствие этого управление в течение всего цикла приходится вести по корректирующим траекториям. В этом случае вместо постоянной коррекции траектории целесообразно немного подправить, или скорректировать параметры самой модели камеры $\{C, \lambda\}$. Причем не исключено, что вследствие несовершенства модели, такие поправки могут оказаться различными для разных режимов работы, скажем, для режима поддержания постоянной температуры и режима сравнительно быстрого нагревания.

Таким образом, возникает задача *оптимизации параметров* выбранной модели. В качестве критерия этой оптимизации можно выбрать, например, минимум функционала

$$S = \sum_{j=1}^{m} \Delta T_{1j}^2 = \sum_{j=1}^{m} (T_{1j} - \theta_{1j})^2 ,$$

где m – число интервалов управления в данном режиме работы или за время всего цикла управления.

Однако здесь возникает следующая трудность. Если пытаться подбирать параметры модели $\{C, \lambda\}$ путем минимизации функционала S в каком-либо одном режиме, то задача будет неоднозначной. Действительно, если, например, в качестве такого режима взять режим постоянной температуры $T_1 = \text{const}$, то цели $S = 0$ можно достигнуть подбором только двух или даже одной теплопроводности λ (в зависимости от конкретной модели камеры), поскольку, как видно из формул (6), (7) и (12), (13), мощность источника q в этом случае зависит только от этих структурных параметров и не зависит от теплоемкости тел. В других режимах управление определяется целыми комбинациями параметров и варьированием каждого из них можно добиться уменьшения S в конкретном режиме, хотя остальные параметры могут оставаться совершенно неправильными, что выявится только при изменении режима.

Для того, чтобы задача оптимизации всего набора структурных параметров была корректной, необходимо проводить эту оптимизацию по многим режимам работы сразу. Например, цикл управления должен включать в себя равномерный, синусоидальный, экспоненциальный режимы изменения температуры. Число различных режимов, вообще говоря, должно быть тем больше, чем больше в выбранной модели параметров, т. е. чем выше ее порядок. Если первоначальное определение параметров по переходному режиму уже проведено, как это описано выше, то они не сильно должны отличаться от оптимальных. Следовательно, функционал S будет практически квадратично зависеть от каждого из них, и оптимизацию можно сделать одношаговой. Тем не менее, даже в этом случае процедура оптимизации выбора

нескольких параметров оказывается весьма длительной, поскольку при пробной вариации каждого из них необходимо провести полный цикл управления в данном режиме, который для реальной термокамеры может продолжаться много часов.

В связи с этим более разумным представляется другой подход. Так как реально число режимов работы термокамеры невелико (это, например, режимы постоянной температуры и равномерного ее изменения в рабочем объеме), то в выражения для соответствующих управляющих функций $q(t)$ для моделей [1] и [2] можно ввести корректирующие коэффициенты k, близкие к единице. Если в данном режиме температура T_1 систематически превышает эталонные значения θ_1, то положить $k < 1$, в противном случае – $k > 1$. Квадратичная оптимизация коэффициента k потребует всего трех циклов измерений в каждом используемом режиме. В режиме постоянной температуры этот коэффициент будет фактически поправкой только на одну или обе теплопроводности λ, так как мощность источника здесь от теплоемкости C не зависит, а определяется лишь потоком тепла в окружающее пространство. В режиме же изменения температуры он будет поправкой сразу на целые комбинации структурных параметров $\{C, \lambda\}$, входящих в управляющую функцию. Вариации этого коэффициента в процессе управления очень динамичны: его можно поправлять после каждых трех-пяти случаев систематического отклонения температуры T_1 от заданной функции $\theta_1(t)$, причем необходимая величина поправки отрабатывается также за несколько шагов. Отработанные в каждом режиме очередного цикла управления k_i запоминаются и используются уже в качестве исходных в следующем цикле.

Метод коррекции управления, который назовем *адаптивным*, кроме гибкости может иметь и еще одно достоинство − возможность сохранения низкого порядка модели. Дело в том, что реальная термокамера является системой с распределенными параметрами $\{C, \lambda\}$, и ее если и можно адекватно описать дискретной моделью, то очень высокого порядка. Этого требует и сложность конструкции камеры. Понижение же порядка модели до второго приведет к тому, что вообще не найдется такого набора ее малочисленных параметров, который бы позволил построить подходящее управление для самых разнообразных режимов работы. А именно такая задача возникает, как было отмечено выше, при попытке оптимизировать каждый из параметров в отдельности.

Таким образом, малый набор параметров упрощенной модели в принципе не может быть универсальным для всех реализуемых режимов. Однако практически при работе камеры используются лишь три-четыре режима, и именно это обстоятельство позволяет обходиться моделью низкого порядка. В небольшом числе режимов и управление определяется небольшим числом комбинаций параметров, которые будут *эффективно* входить в поправочные коэффициенты k_i для каждого из этих режимов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Михайлов, В. К.* Работа алгоритма управления температурой для простейших моделей термокамеры. 1. Формирование управляющей функции для тепловой модели с прямым подогревом / В. К. Михайлов, И. А. Плешаков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. научн. ст. № 15(102) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 15). – С. 23–26.

2. *Михайлов, В. К.* Работа алгоритма управления температурой для простейших моделей термокамеры. 2. Формирование управляющей функции для тепловой модели с косвенным подогревом / В. К. Михайлов, И. А. Плешаков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. научн. ст. № 8(111) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 16). – С. 29–31.

3. *Михайлов, В. К.* Принцип построения алгоритма управления состоянием линейных инерционных объектов / В. К. Михайлов, И. А. Плешаков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. научн. ст. № 10(97) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 14). – С. 36–41.

4. *Михайлов, В. К.* Принцип построения алгоритма управления от одного источника / В. К. Михайлов, И. А. Плешаков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. научн. ст. № 15(102) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 15). – С. 19–22.

5. *Гусев, С. С.* Алгоритм идентификации динамических объектов с учетом априорной информации о параметрах / С. С. Гусев, В. М. Чадеев // Проблемы управления. – 2009. – № 1. – С. 18–21.

6. *Разоренов, Г. Н.* Теория и системы оптимального управления / Г. Н. Разоренов, А. А. Самарин. − М.: МО, 2007. − 476 с.

7. *Бесекерский, В. А.* Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – СПб.: Профессия, 2004. − 749 с.

8. *Семенов, В. Г.* Математическая модель микроклимата теплицы / В. Г. Семенов, Е. Г. Крушель // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. научн. ст. № 6(54) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 6). – С. 32–35.

УДК 681.5.033

И. А. Семенова, Л. И. Медведева

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ ПАРОВ БЕНЗИНА В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ АДСОРБЕРЕ

Волжский политехнический институт

semirinaalex@yandex.ru

В статье изложены методы расчета динамической характеристики адсорбера в технологическом процессе рекуперации бензина, представлена его структурная схема.

Ключевые слова: случайные процессы, процесс адсорбции, методы получения динамической характеристики, весовая характеристика, взаимная корреляционная функция.

I. A. Semenova, L. I. Medvedeva

CALCULATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS THE ADSORPTION PROCESS OF GASOLINE VAPOR IN HORIZONTAL ADSORBERS

Volzhsky Polytechnical Institute

The article describes the methods for calculating the dynamic characteristics of the adsorption process in the recovery of gasoline, it is a block diagram.

Keywords: stochastic processes, the process of adsorption, methods for dynamic performance, the weight characteristics, the cross-correlation function.

Вследствие широкого использования средств вычислительной техники для управления технологическими процессами в химической промышленности возрастает необходимость расчета характеристик и их математического описания в объектах управления (ОУ). В данной статье рассматриваются методы получения математической модели ОУ в рамках технологического процесса рекуперации бензина, заключающегося в адсорбции паров бензина активированным углем.

Рассчитанные математические модели могут применяться в работе процесса адсорбции, являющимся основополагающим в работе всей рекуперационной установки. Рекуперационная установка расположена на заводе ОАО «ВАТИ» в городе Волжском, изготавливающем асбестотехнические изделия (тормозные колодки, фрикционные накладки, паронит, ткани асбестовые, шнур асбестовый).

На данном предприятии процессы адсорбции и рекуперации позволяют вторично использовать бензин, техническую воду, получаемые из вредных и взрывоопасных смесей, отводимых из цехов паронитового производства. Возврат бензина в производство составляет 71%. Это приводит к значительному снижению себестоимости продукции завода ОАО «ВАТИ», а снижение себестоимости продукции позволяет заводу занимать ведущее место в отрасли по общему объему производства, отгрузке и реализации продукции.

Также одним из выходных продуктов процесса адсорбции является отработанный воздух, отводимый в атмосферу, предельно допустимая концентрация паров бензина в котором, должна быть минимальна и безопасна для окружающей среды (до 100 мг/м^3) [1].

Следовательно, исследование данного процесса актуально и необходимо во избежание опасностей для человеческой жизни.

Значимым показателем, влияющим на результативность адсорбции паровоздушной смеси (ПВС) является температура в адсорбере. Качество процесса оценивается максимальной концентрацией бензина, полученного в результате процесса рекуперации.

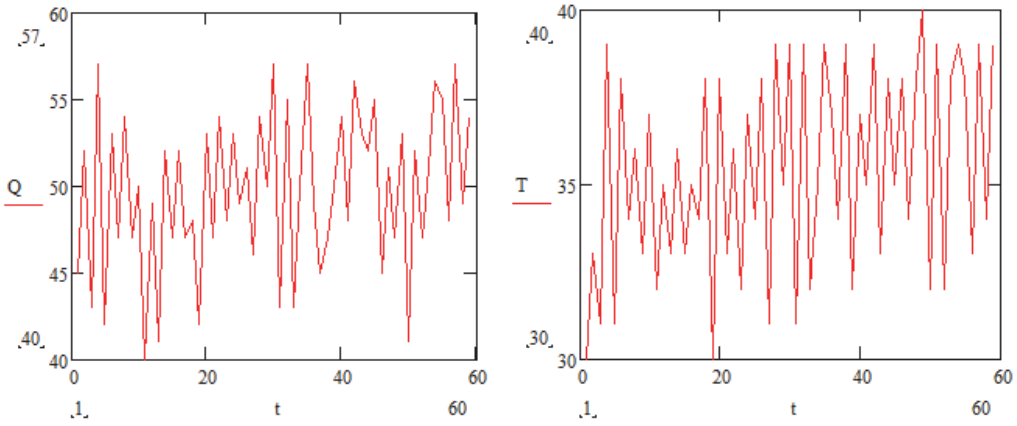
Целью данного исследования является нахождение математической модели, адекватно (в рамках погрешности) описывающей изменение температуры внутри адсорбера.

В статье кратко излагаются методы нахождения математического описания динамической характеристики объекта управления (ОУ) – адсорбера; приводятся погрешности каждой из полученных математических моделей.

На стадии адсорбции входные (Q – расход ПВС, м^3/мин) и выходные (T – температура в адсорбере, °C) величины представляют собой случайные функции времени – случайные процессы (рис.1).

Определение динамической характеристики ОУ затруднительно, и каждый метод получения математического описания представляет ре-

зультат в рамках погрешности. В качестве методов, позволяющих найти математическую модель ОУ используются: определение весовой характеристики ОУ с помощью корреляционной функции и метод переходных характеристик.



а *б*

Рис. 1. Реализация случайных процессов:
а – расход ПВС (м^3/мин); *б* – температура ПВС в адсорбере (°С)

В первую очередь рассматривается *нахождение весовой характеристики ОУ с помощью корреляционной функции*. В результате обработки экспериментальных данных находятся оценки математического ожидания входного (Q – расход ПВС, м^3/мин) и выходного (Т – температура в адсорбере, °С) сигналов и корреляционной функции входного сигнала, значения которых вычисляются по формулам [2]:

$$m_Q^* = \frac{1}{n+1}\sum_{i=0}^{n} Q_i ; \quad m_T^* = \frac{1}{n+1}\sum_{i=0}^{n} Q_i ; \qquad (1)$$

$$R_Q^*(j\tau) = \frac{1}{n-j}\cdot\sum_{i=1}^{n-j}(Q_i - m_Q^*)\cdot(Q_{i+j} - m_Q^*). \qquad (2)$$

Расчет взаимной корреляционной функции входного и выходного сигналов осуществляется по формуле [2]:

$$R_{QT}^*(j\tau) = \frac{1}{n-j}\cdot\sum_{i=1}^{n-j}(Q_i - m_Q^*)\cdot(T_{i+j} - m_T^*), \qquad (3)$$

где n – число замеров или экспериментов; j – текущий порядковый номер значения оценки корреляционной функции; i – порядковый номер замера или эксперимента; m_Q^*, m_T^* – оценки математического ожидания входного и выходного сигналов, Q_i, T_i – текущие значения расхода и температуры ПВС.

В инженерной практике взаимная корреляционная функция представляется в матричном виде. Нахождение значений оценки весовой характеристики осуществляется с помощью уравнения в матричной форме:

$$H = A^{-1}\cdot B, \qquad (4)$$

где А – матрица корреляционной функции входного сигнала (A^{-1} матрица обратная А), В – вектор корреляционной функции входного сигнала.

Выражения для матриц имеют следующий вид [3]:

$$A = \begin{pmatrix} R_Q(0) & R_Q(1) & R_Q(2)... & ...R_Q(N) \\ R_Q(1) & R_Q(0) & R_Q(1)... & ...R_Q(N-1) \\ R_Q(2) & R_Q(1) & R_Q(0)... & ...R_Q(N-2) \\ ... & ... & ... & ... \\ R_Q(N) & R_Q(N-1) & R_Q(N-2) & R_Q(0) \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} R_Q(0) \\ R_Q(1) \\ R_Q(2) \\ ..... \\ R_Q(N) \end{pmatrix}. \qquad (5)$$

Решение уравнения в матричной форме (4) производится в программном средстве MathCAD 14.

По весовой характеристике ОУ определяется его передаточная функция. Известно, что переходная функция представляет собой интеграл от импульсной переходной характеристики (весовой функции):

$$w(t) = \int_0^{\infty} h(\tau)d\tau. \qquad (6)$$

Следующим способом нахождения математического описания ОУ является *метод пере-*

ходных характеристик. Этот метод прост, требует минимального количества аппаратуры и позволяет определить динамические характеристики объекта за короткий промежуток времени [4]. В процессе исследования характеристик адсорбера проводится эксперимент, в результате которого получаются данные изменения температуры ПВС с термопар в начале процесса адсорбции [5].

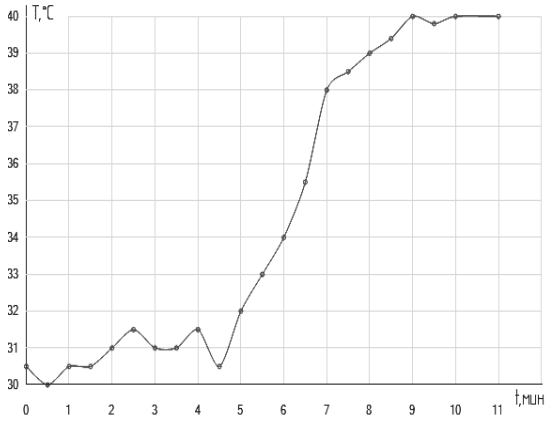


Рис. 2. Изменение температуры ПВС, подаваемой в адсорбер

На рис. 2 представлен процесс, искаженный неустановившимися значениями температуры подаваемой ПВС.

Для получения математической модели используется метод сглаживания переходной характеристики скользящим усреднением по формуле:

$$h^*_{i+l/2} = \frac{1}{l+1}\sum_{\beta=0}^{i} z_i + \beta\,, \qquad (7)$$

где h^* – оценки ординат переходной характеристики $h(t)$; Δt – интервал времени; l – любое целое и четное число; z_i (i=0,1,2,..,n) – ординаты [4].

Объект с такой характеристикой аппроксимируется цепочкой последовательно соединенных апериодических звеньев первого порядка, которые имеют одинаковые постоянные времени с звеном запаздывания:

$$W_{об}(p) = \frac{k_{об}}{(T\cdot p+1)^n} e^{-p\tau}\,, \qquad (8)$$

где τ – время запаздывания, T – апериодическая постоянная времени объекта, k – коэффициент усиления.

Вышеописанные методы применяются к объекту исследования, которым является цилиндрический адсорбер горизонтального типа (рис.3) [6], применяющийся в процессе адсорбции (стадия насыщения) и процессе десорбции паров бензина (отгонка).

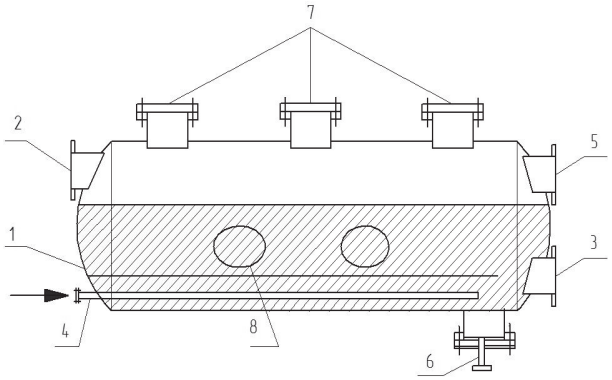


Рис. 3. Горизонтальный адсорбер с неподвижным слоем поглотителя:
1 – корпус, 2 – штуцер для подачи паровоздушной смеси (ПВС), 3 – штуцер для отвода отработанного воздуха, 4 – барботер для подачи острого пара при десорбции, 5 – штуцер для отвода паров при десорбции,6 – штуцер для отвода конденсата, 7 – люки для загрузки поглотителя, 8 – люки для выгрузки поглотителя

Структурная схема ОУ приведена на рис. 4.

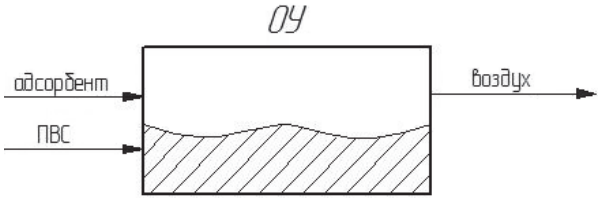


Рис.4. Структурная схема ОУ

ПВС, содержащая пары бензина при t=32°C поступает в штуцер 2 для подачи ПВС (рис.3). Средний расход подаваемой ПВС в адсорбер составляет 57,7 м^3/мин. Уголь активированный рекуперационный АР-В, АР-Б является адсорбирующим веществом. Отработанный воздух (t=40-42°C), очищенный от паров бензина отводится через выхлопную трубу 3 в атмосферу (рис.3). Средний расход отводимого воздуха составляет 17,31 м^3/мин.

В результате исследования ОУ и анализа экспериментальных данных рассчитываются следующие математические модели ОУ.

Математическая модель по каналу «расход ПВС – температура в адсорбере», рассчитанная с помощью корреляционной функции имеет вид:

$$W(p) = \frac{0{,}17}{4{,}72\cdot p^3 + 7{,}35\cdot p^2 + 3{,}16\cdot p + 1}\cdot e^{-2{,}19\cdot p}\,. \qquad (9)$$

Переходный процесс представлен на рис. 5.

При определении динамической характеристики с помощью метода переходных характеристик рассчитанная математическая модель по каналу «расход ПВС – температура в адсорбере» имеет вид:

$$W_{об}(p) = \frac{0{,}17}{(0{,}72 \cdot p + 1)^3} e^{-2{,}19p}. \qquad (10)$$

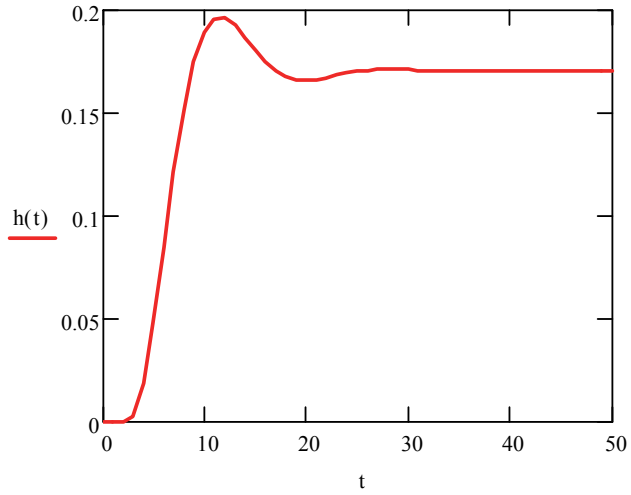


Рис. 5. Переходный процесс ОУ

Переходный процесс представлен на рис. 6:

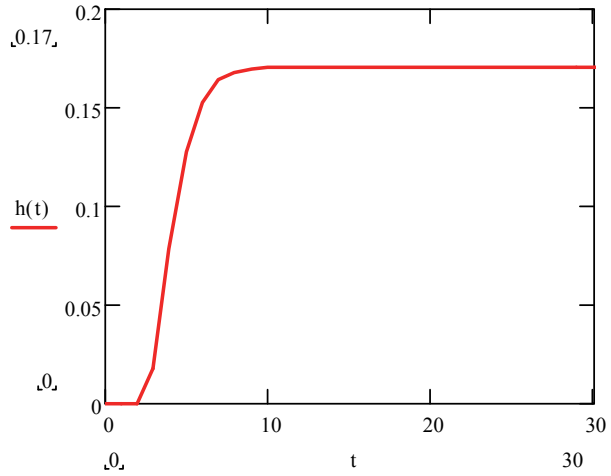


Рис. 6. Переходный процесс ОУ

Анализ переходных процессов показывает, что при изменении расхода ПВС температура в адсорбере сначала растет, а затем выравнивается относительно нового состояния, а это отвечает реальным условиям течения процесса. По результатам расчета математических моделей динамической характеристики ОУ – адсорбера формируются следующие выводы.

Погрешность математической модели, найденной с помощью *корреляционной функции* равна 8,5 %; с помощью *метода переходных характеристик* – 9,7 %. Передаточные функции в рамках погрешности точно описывают исследуемую динамическую характеристику ОУ. Методы нахождения динамической характеристики ОУ дали адекватные математические модели ОУ.

Найденные математические описания изменения температуры в адсорбере позволяют влиять на результативность процесса, т.к. температура в адсорбере является косвенным показателем, влияющим на качество адсорбции. А качество адсорбции: это минимальное содержание паров бензина в воздухе, отводимом в атмосферу, и максимальное – в бензине, используемом вторично в паронитном производстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны : постановление о введении в действие ГН 2.2.5.1313-03 от 30 апреля 2003 г. №76 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2003. 2000 – № 31. – Ст. 3295.

2. *Гартман, Т. Н.* Основы компьютерного моделирования химико-технологичеких процессов / Т. Н. Гартман. – М.: Академкнига, 2006. – 416 с.

3. *Бесекерский, В. А.* Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – Спб.: Профессия, 2003. – 757 с.

4. *Шишмарев, В. Ю.* Основы автоматического управления / В. Ю. Шишмарев. – М.: Академия, 2008. – 352 с.

5. *Михайлов, В. К.* Принцип построения алгоритма управления состоянием линейных инерционных объектов / В. К. Михайлов, И. А. Плешаков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 10(97) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 14). – С. 36–41.

6. *Оура, К.* Введение в физику поверхности / К. Оура, В.Г. Лифшиц, А.А. Саранин ; пер. с нем. А. В. Зотова, А. А. Саранина ; под ред. В. И. Сергиенко. – М.: Наука, 2006. – 490 с.

УДК 517.5

Б. В. Симонов, И. Э. Симонова

РЯДЫ ПО СИНУСАМ И КОСИНУСАМ С КОЭФФИЦИЕНТАМИ ИЗ КЛАССА (OB_r)*

Волгоградский государственный технический университет

simonov-b2002@yandex.ru, simonova-vstu@mail.ru

В работе рассматриваются тригонометрические ряды с коэффициентами из класса (OB_r). Доказана их сходимость и представление.

Ключевые слова: ряды, коэффициенты, подпоследовательность.

B. V. Simonov, I. E. Simonova

SINE AND COSINE SERIES WITH COEFFICIENTS IN (OB_r) CLASSES

Volgograd State Technical University

We study sine and cosine series with coefficients in (OB_r) classes. Their convergence and performance are proved.

Keywords: series, coefficients, subsequence.

1. Введение

Основы теории тригонометрических рядов сформировались в 19в. в значительной степени в связи с потребностью нахождения методов решения уравнений математической физики. Многочисленные математические модели задач математической физики и методы их решения, как аналитические, так и численные, приведены в книге А.Н. Тихонова, А.А. Самарского ([1]).

Методы суммирования тригонометрических рядов широко используются в радиотехнике при построении моделей каналов связи. Электрические сигналы, проходящие по каналам связи, в простейшем случае имеют форму гармонических сигналов $A(\omega)\sin(\omega t+\varphi)$. В качестве математических моделей более сложных сигналов, в том числе импульсных, используются суммы гармонических колебаний.

В настоящей работе изучаются специальные классы тригонометрических рядов по синусам и косинусам с коэффициентами из класса (OB_r). Эта работа продолжает исследования авторов в области специальных классов тригонометрических рядов с коэффициентами, монотонными по подпоследовательностям. Такие ряды находят широкое применение. Так, например, они используются при изучении точности неравенств, теорем вложения (см., например, [2], [3], [4]).

Будем рассматривать тригонометрические ряды вида

$$\frac{a_0}{2}+\sum_{n=1}^{\infty}a_n\cos nx, \qquad (1)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty}a_n\sin nx. \qquad (2)$$

Определение 1 ([5]). Будем говорить, что последовательность $\{a_n\}$ удовлетворяет условию (B), если

$$\lim_{n\to\infty}a_n=0 \quad \text{и} \quad \sum_{n=0}^{\infty}|\Delta a_n|<\infty,$$

где $\Delta a_n=a_n-a_{n+1}$.

Если последовательность $\{a_n\}$ монотонно стремится к нулю, то $\{a_n\}$ удовлетворяет условию (B). Когда последовательность $\{a_n\}$ удовлетворяет условию (B), то ряды (1) и (2) сходятся всюду, кроме, быть может, точек $x\equiv 0(\mathrm{mod}\,2\pi)$ для ряда (1) (см. [6], стр. 16). Обозначим сумму ряда (1) через $f(x)$, а сумму ряда (2) – через $g(x)$. В случае, когда выполнено условие (B), применим преобразование Абеля к частным суммам рядов (1) и (2). Переходя к пределу, получим (см. [5]) следующие представления рядов (1) и (2):

$$f(x)=\sum_{k=0}^{\infty}\Delta a_k\cdot D_k(x),\ \ g(x)=\sum_{k=1}^{\infty}\Delta a_k\cdot \overline{D}_k(x),$$

при $x\neq 0(\mathrm{mod}\,2\pi)$,

$$D_k(x)=\frac{\sin\left(k+\frac{1}{2}\right)x}{2\sin\frac{1}{2}x},$$

$$\overline{D}_k(x)=\frac{\cos\frac{1}{2}x-\cos\left(k+\frac{1}{2}\right)x}{2\sin\frac{1}{2}x}.$$

* Исследования первого автора проводились при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 12-01-00169) и программы ведущих научных школ (грант НШ-3682.2014.1).

Такие представления находят широкое применение. Например, они используются при исследовании вопроса об интегрируемости функций $f(x)$ и $g(x)$, а также вопроса о том, являются ли ряды (1) и (2) рядами Фурье этих функций.

Пусть дано натуральное число r. Последовательность коэффициентов $\{a_n\}_{n=0}^{\infty}$ (или $\{a_n\}_{n=1}^{\infty}$) можно разбить на r подпоследовательностей

$$\{a_{rn}\}_{n=0}^{\infty},\ \{a_{rn+1}\}_{n=0}^{\infty},\ \ldots,\ \{a_{rn+r-1}\}_{n=0}^{\infty}$$

или $(\{a_{rn}\}_{n=1}^{\infty},\ \{a_{rn-1}\}_{n=1}^{\infty},\ \ldots,\ \{a_{rn-r+1}\}_{n=1}^{\infty})$.

В частности, при $r=1$ имеется одна последовательность – это сама последовательность $\{a_n\}_{n=0}^{\infty}$ (или $\{a_n\}_{n=1}^{\infty}$);при $r=2$ имеется две подпоследовательности - $\{a_{2n}\}_{n=0}^{\infty}$ и $\{a_{2n+1}\}_{n=0}^{\infty}$ (или $\{a_{2n}\}_{n=1}^{\infty}$ и $\{a_{2n-1}\}_{n=1}^{\infty}$); при $r=3$ имеется три подпоследовательности - $\{a_{3n}\}_{n=0}^{\infty}, \{a_{3n+1}\}_{n=0}^{\infty}$ и $\{a_{3n+2}\}_{n=0}^{\infty}$ (или $\{a_{3n}\}_{n=1}^{\infty}, \{a_{3n-1}\}_{n=1}^{\infty}$ и $\{a_{3n-2}\}_{n=1}^{\infty}$) и т.д.

Определение 2. Будем говорить, что последовательность $\{a_n\}$ удовлетворяет условию (B_r) ($r \in N$), если

$$\lim_{n\to\infty} a_n = 0 \quad \text{и} \quad \sum_{n=0}^{\infty} |\Delta_{1,r} a_{rn+k}| < \infty,$$
$$k = 0,1,\ldots,r-1,$$

где $\Delta_{1,r} a_{rn+k} = a_{rn+k} - a_{rn+k+r}$, $\Delta_{2,r} a_{rn+k} = \Delta_{1,r}\left(\Delta_{1,r} a_{rn+k}\right)$.

Заметим, что если $r=1$, то $\Delta_{1,r} a_{rn+k} = \Delta_{1,1} a_n = a_n - a_{n+1} = \Delta a_n$, т.е. условие ($B_1$) совпадает с условием (B).

Определение 3. Будем говорить, что последовательность $\{a_n\}$ удовлетворяет условию (OB_r) ($r \in N$), если

$$\lim_{n\to\infty} a_n = 0 \text{ и } \sum_{n=0}^{\infty}\left(|\Delta_{1,r} a_{rn}| + \left(\left[\frac{r}{2}\right] - \left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot |\Delta_{1,r} a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}| + sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot \sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(|\Delta_{1,r}(a_{rn+k} + a_{rn+r-k})| + |\Delta_{1,r}(a_{rn+k} - a_{rn+r-k})|\right)\right) < \infty,$$

где $[a]$ – целая часть числа a.

Заметим, что если последовательность $\{a_n\}$ удовлетворяет условию (B_r), то она удовлетворяет и условию (OB_r). Обратное же не всегда верно.

Пусть

$$n \in N; l \in N \cup \{0\}; B_0^0(x) = \frac{1}{2}; B_n^0(x) = \cos nx;$$
$$B_l^1(x) = \sum_{m=0}^{l} B_m^0(x); B_l^2(x) = \sum_{m=0}^{l} B_m^1(x);$$
$$\overline{B}_n^0(x) = \sin nx; \overline{B}_n^1(x) = \sum_{m=1}^{n} \overline{B}_m^0(x);$$
$$BC_l^0(x) = \cos((2l+1)x); BC_l^1(x) = \sum_{m=0}^{l} BC_m^0(x);$$
$$\overline{BC}_l^0(x) = \sin((2l+1)x); \overline{BC}_l^1(x) = \sum_{m=0}^{l} \overline{BC}_m^0)(x).$$

Заметим, что $B_l^1(x)$ – ядро Дирихле $D_l(x)$, $\overline{B}_n^1(x)$ – сопряженной ядро Дирихле $\overline{D}_n(x)$, $B_l^2(x)$ – ядро Фейера, умноженное на $l+1$.

Сформулируем основное утверждение.

Утверждение. *Пусть* $r \in N, l \in Z$. *Если последовательность* $\{a_n\}$ *удовлетворяет условию* (OB_r), *то ряды(1) и (2) сходятся всюду, кроме, быть может, точек* $-m\cdot\frac{2\pi}{r} + 2l\pi$, *где* $m = -\left[\frac{r}{2}\right], -\left[\frac{r}{2}\right]+1, \ldots, 0, 1, \ldots, \left[\frac{r-1}{2}\right]$, $l \in Z$. *На каждом отрезке*

$$\left[-\frac{\pi}{r} - m\frac{2\pi}{r}, -m\frac{2\pi}{r} - \varepsilon_m^{(1)}\right],$$
$$\left[-m\frac{2\pi}{r} + \varepsilon_m^{(2)}, \frac{\pi}{r} - m\frac{2\pi}{r}\right],$$

где $\varepsilon_m^{(1)}, \varepsilon_m^{(2)} > 0, m = -\left[\frac{r}{2}\right], \ldots, \left[\frac{r-1}{2}\right]$, *ряды(1) и (2) сходятся равномерно.*

Функции $f\left(x-l\frac{2\pi}{r}\right)$ ($f(x)$ – *сумма ряда (1)) и* $g\left(x-l\frac{2\pi}{r}\right)$ ($g(x)$ – *сумма ряда (2)), могут быть почти всюду представлены в виде*

$$f\left(x-l\frac{2\pi}{r}\right)=\sum_{n=0}^{\infty}\left(\Delta_{1,r}a_{rn}\cdot B_n^1(rx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot\cos l\pi\cdot\Delta_{1,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}BC_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\right.$$

$$+sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\cos\left(kl\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{1,r}\left(a_{rn+k}+a_{rn+r-k}\right)\cdot BC_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\right.$$

$$\left.\left.+\sin\left(kl\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{1,r}\left(a_{rn+k}-a_{rn+r-k}\right)\cdot\overline{BC}_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)\right)\right),\quad(3)$$

$$g\left(x-l\frac{2\pi}{r}\right)=\sum_{n=0}^{\infty}\left(\Delta_{1,r}a_{r(n+1)}\cdot\overline{B}_{n+1}^1(rx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot\cos l\pi\cdot\Delta_{1,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}\overline{BC}_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\right.$$

$$+sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\cos\left(kl\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{1,r}\left(a_{rn+k}+a_{rn+r-k}\right)\cdot\overline{BC}_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)-\right.$$

$$\left.\left.-\sin\left(kl\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{1,r}\left(a_{rn+k}-a_{rn+r-k}\right)\cdot BC_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)\right)\right).$$

2. Вспомогательные утверждения

Лемма 1 ([7]). *Пусть* $n\in N\cup\{0\}$. *Тогда*

для $x\neq 0(\mathrm{mod}\,2\pi)$ $B_n^1(x)=\dfrac{\sin\left((2n+1)\frac{x}{2}\right)}{2\sin\frac{x}{2}}$,

$$B_n^2(x)=\frac{\sin^2\left((n+1)\frac{x}{2}\right)}{2\sin^2\frac{x}{2}},$$

$$\overline{B}_{n+1}^1(x)=\frac{\cos\frac{x}{2}-\cos\left((2(n+1)+1)\frac{x}{2}\right)}{2\sin\frac{x}{2}};$$

для $x\neq(\mathrm{mod}\,\pi)$ $BC_n^1(x)=\dfrac{\sin((2n+1)x)}{2\sin x}$,

$$BC_n^2(x)=\frac{\sin((n+1)x)\cdot\sin((n+2)x)}{2\sin^2(x)};$$

$$\overline{BC}_n^1(x)=\frac{\sin^2((n+1)x)}{\sin x}.$$

Лемма 2 ([8]). *Для того чтобы последовательность функций* $f_n, n=1,2,...,$ *определенных на некотором множестве* E, *равномерно сходилась на этом множестве, необходимо и достаточно, чтобы для любого* $\varepsilon>0$ *существовал такой номер* n_ε, *что для всех номеров* $n>n_\varepsilon$, *всех целых* $p\geq 0$ *и всех точек* $x\in E$ *выполнялось неравенство* $\left|f_{n+p}(x)-f_n(x)\right|<\varepsilon$.

3. Доказательство утверждения

В случае нечетных r представим отрезок $[-\pi,\pi]$, а в случае четных r отрезок $\left[-\pi+\frac{\pi}{r},\pi+\frac{\pi}{r}\right]$ как объединение следующих отрезков $\left[-\frac{\pi}{r}+m\frac{2\pi}{r},-m\frac{2\pi}{r}\right]$,

$$\left[-m\frac{2\pi}{r},\frac{\pi}{r}-m\frac{2\pi}{r}\right]$$

$$\left(m=-\left[\frac{r}{2}\right],-\left[\frac{r}{2}\right]+1,...,\left[\frac{r-1}{2}\right]\right).$$

Рассмотрим частную сумму $S_n(x)$ ряда (1) в случае $r>2$. Тогда

$$\sum_{m=-\left[\frac{r}{2}\right]}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]} S_n(x)\cdot\left(\chi_{\left[-\frac{\pi}{r}-m\frac{2\pi}{r},-m\frac{2\pi}{r}\right]}(x)+\chi_{\left[-m\frac{2\pi}{r},\frac{\pi}{r}-m\frac{2\pi}{r}\right]}(x)\right)=$$

$$=\sum_{m=-\left[\frac{r}{2}\right]}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(S_n(x)\cdot\chi_{\left[-\frac{\pi}{r},0\right]}\left(x+m\frac{2\pi}{r}\right)+S_n(x)\cdot\chi_{\left[0,\frac{\pi}{r}\right]}\left(x+m\frac{2\pi}{r}\right)\right).$$

Покажем, что для каждого $m=-\left[\frac{r}{2}\right],...,\left[\frac{r-1}{2}\right]$ последовательность $S_n\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)$ сходится равномерно на $\left[-\frac{\pi}{r},-\varepsilon_m^{(1)}\right]$ и на $\left[\varepsilon_m^{(2)},\frac{\pi}{r}\right]$, где $\varepsilon_m^{(1)},\varepsilon_m^{(2)}>0$. Рассмотрим

$$S_{Mr}\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)=\frac{a_0}{2}+\sum_{k=1}^{r}\sum_{n=0}^{M-1}a_{k+nr}\left(\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\cos((k+nr)x)+\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sin((k+nr)x)\right).$$

Если $r-$ четное, то $\sin\left(\frac{r}{2}m\frac{2\pi}{r}\right)=0$. Разобьем диапазон изменения k на две части - от 1 до $\left[\frac{r-1}{2}\right]$ и от $\left[\frac{r}{2}\right]+1$ до $r-1$. Тогда

$$S_{Mr}\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)=\frac{a_0}{2}+\sum_{n=1}^{M}a_{nr}\cos(nrx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos(m\pi)\sum_{n=0}^{M-1}a_{nr+\left[\frac{r}{2}\right]}\cos\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{k+nr}\cos((k+nr)x)+\sum_{k=\left[\frac{r}{2}\right]+1}^{r-1}\cos\left(m\left(k\frac{2\pi}{r}-2\pi\right)\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{k+nr}\cos((k+nr)x)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{k+nr}\sin((k+nr)x)+\sum_{k=\left[\frac{r}{2}\right]+1}^{r-1}\sin\left(m\left(k\frac{2\pi}{r}-2\pi\right)\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{k+nr}\sin((k+nr)x)=$$

$$=\frac{a_0}{2}+\sum_{n=1}^{M}a_{nr}\cos(nrx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos(m\pi)\sum_{n=0}^{M-1}a_{nr+\left[\frac{r}{2}\right]}\cos\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\cdot$$

$$\cdot\sum_{n=0}^{M-1}(a_{k+nr}+a_{r-k+nr}-a_{r-k+nr})\cos((k+nr)x)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{r-k+nr}\cos((r-k+nr)x)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}(a_{k+nr}+a_{r-k+nr}-a_{r-k+nr})\sin((k+nr)x)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{r-k+nr}\sin((r-$$

$$-k+nr)x)=\frac{a_0}{2}+\sum_{n=1}^{M}a_{nr}\cos(nrx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos(m\pi)\sum_{n=0}^{M-1}a_{nr+\left[\frac{r}{2}\right]}\cos\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M}(a_{k+nr}+a_{r-k+nr})\cos((k+nr)x)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{r-k+nr}(\cos((r-k+$$

$$+nr)x)-\cos((k+nr)x)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}(a_{k+nr}-a_{r-k+nr})\sin((k+nr)x)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{r-k+nr}(\sin((r-k+nr)x)-\sin((k+nr)x).$$

Аналогичными рассуждениями можно получить представление

$$S_{Mr}(x-2\pi m/r)=\frac{a_0}{2}+\sum_{n=1}^{M}a_{nr}\cos(nrx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos(m\pi)\sum_{n=0}^{M-1}a_{nr+\left[\frac{r}{2}\right]}\cos\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=\left[\frac{r}{2}\right]+1}^{r-1}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M}(a_{k+nr}+a_{r-k+nr})\cos((k+nr)x)+\sum_{k=\left[\frac{r}{2}\right]+1}^{r-1}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{r-k+nr}(\cos((r-k+$$

$$+nr)x)-\cos((k+nr)x)+\sum_{k=\left[\frac{r}{2}\right]+1}^{r-1}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}(a_{k+nr}-a_{r-k+nr})\sin((k+nr)x)-$$

$$-\sum_{k=\left[\frac{r}{2}\right]+1}^{r-1}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}\right)\sum_{n=0}^{M-1}a_{r-k+nr}(\sin((r-k+nr)x)-\sin((k+nr)x).$$

Тогда

$$2S_{Mr}\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)=2\frac{a_0}{2}+2\sum_{n=1}^{M}a_{nr}\cos(nrx)+2\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos(m\pi)\sum_{n=0}^{M-1}a_{nr+\left[\frac{r}{2}\right]}\cos\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+2\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{n=0}^{M-1}(a_{k+nr}+a_{r-k+nr})\cos\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+2\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{n=0}^{M-1}(a_{k+nr}-a_{r-k+nr})\sin\left((2n+1)\frac{rx}{2}\right).$$

Пусть $\varepsilon>0$. Для данного m рассмотрим $\left[\varepsilon_m^{(2)},\frac{\pi}{r}\right]$. Возьмем $\varepsilon_1=\frac{\varepsilon\cdot\varepsilon_m^{(2)}}{12\pi}$. Для данного ε_1 найдется найдется натуральное число N_0 такое, что для всех $s>N_0$ будут справедливы неравенства $|a_s|<\varepsilon_1$,

$$\sum_{n=s}^{\infty}\left(|\Delta_{1,r}a_{rn}|+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot|\Delta_{1,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}|+\right.$$

$$\left.+sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(|\Delta_{1,r}(a_{rn+k}+a_{rn+r-k})|+|\Delta_{1,r}(a_{rn+k}-a_{rn+r-k})|\right)\right)<\varepsilon_1.$$

Пусть $M_0\in N$ такое, что $M_0\cdot r\geq N_0$, и любое число n такое, что $n\geq M_0\cdot r$. Его можно представить в виде как $n=(M_0+t)r+s$, где $t=0,1,2,...$, $s=0,1,...,r-1$. Возьмем целое $p\geq 0$. Его можно представить как $p=t_1r+s_1$, где $t_1=0,1,...$, $s_1=0,1,...,r-1$. Рассмотрим

$$S_n\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)=\frac{a_0}{2}+\sum_{l=1}^{(M_0+t)r+s}a_l\cos\left(l\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)\right)=$$

$$=\frac{a_0}{2}+\sum_{l=1}^{M_0+t}a_{nr}\cos(lrx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos(m\pi)\sum_{l=0}^{M_0+t-1}a_{lr+\left[\frac{r}{2}\right]}\cos\left((2l+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{l=0}^{M_0+t-1}(a_{k+lr}+a_{r-k+lr})\cos\left((2l+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{l=0}^{M_0+t-1}(a_{k+lr}-a_{r-k+lr})\sin\left((2l+1)\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{l=(M_0+t)r+1}^{(M_0+t)r+s}a_l\cos\left(l\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)\right)=\sum_{l=(M_0+t)r+1}^{(M_0+t)r+s}a_l\cos\left(l\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)\right)+$$

$$+\sum_{l=0}^{M_0+t}\Delta_{1,r}a_{lr}B_l^1(rx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos m\pi\sum_{l=0}^{M_0+t-1}\Delta_{1,r}a_{(2l+1)\left[\frac{r}{2}\right]}BC_l^1\left(\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{l=0}^{M_0+t-1}\Delta_{1,r}(a_{k+lr}+a_{r-k+lr})BC_l^1\left(\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{l=0}^{M_0+t-1}\Delta_{1,r}(a_{k+lr}-a_{r-k+lr})\overline{BC}_l^1\left(\frac{rx}{2}\right)+a_{(M_0+t+1)}B_{M_0+t}^1(rx)+$$

$$+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot\cos m\pi\cdot a_{(2(M_0+t)+1)\left[\frac{r}{2}\right]}BC_{M_0+t-1}^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\cos\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)(a_{k+(M_0+t)r}+\right.$$

$$\left.+a_{r-k+(M_0+t)r})BC_{M_0+t-1}^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\sin\left(km\frac{2\pi}{r}+(2k-r)\frac{x}{2}\right)(a_{k+(M_0+t)r}-a_{r-k+(M_0+t)r})\overline{BC}_{M_0+t-1}^1\left(\frac{rx}{2}\right)\right),$$

$$S_{n+p}\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)=\sum_{l=(M_0+t+t_1)r+1}^{(M_0+t+t_1)r+s+s_1}a_l\cos\left(l\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)\right)+$$

$$+\sum_{l=0}^{M_0+t+t_1}\Delta_{1,r}a_{lr}B_l^1(rx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cos m\pi\sum_{l=0}^{M_0+t+t_1-1}\Delta_{1,r}a_{(2l+1)\left[\frac{r}{2}\right]}BC_l^1\left(\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\cos\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{l=0}^{M_0+t+t_1-1}\Delta_{1,r}(a_{k+lr}+a_{r-k+lr})BC_l^1\left(\frac{rx}{2}\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\sin\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)\sum_{l=0}^{M_0+t+t_1-1}\Delta_{1,r}(a_{k+lr}-a_{r-k+lr})\overline{BC}_l^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot\cos m\pi\cdot$$

$$\cdot a_{(2(M_0+t+t_1)+1)\left[\frac{r}{2}\right]}BC_{M_0+t+t_1-1}^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\cos\left(km\frac{2\pi}{r}-(2k-r)\frac{x}{2}\right)(a_{k+(M_0+t+t_1)r}+a_{r-k+(M_0+t+t_1)r})\cdot\right.$$

$$\left.\cdot BC_{M_0+t+t_1-1}^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\sin\left(km\frac{2\pi}{r}+(2k-r)\frac{x}{2}\right)(a_{k+(M_0+t+t_1)r}-a_{r-k+(M_0+t+t_1)r})\overline{BC}_{M_0+t+t_1-1}^1\left(\frac{rx}{2}\right)\right).$$

Применяя лемму 1, будем иметь

$$\left|S_{n+p}\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)-S_n\left(x-m\frac{2\pi}{r}\right)\right|\le\frac{\pi}{r\varepsilon_m^{(2)}}\left(\sum_{l=M_0+t+1}^{M_0+t+t_1}\left(\left|\Delta_{1,r}a_{lr}\right|+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\left|\Delta_{1,r}a_{(2l+1)\left[\frac{r}{2}\right]}\right|+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left|\Delta_{1,r}\left(a_{k+lr}+a_{r-k+lr}\right)\right|+\left|\Delta_{1,r}\left(a_{k+lr}-a_{r-k+lr}\right)\right|\right)+\sum_{l=(M_0+t+t_1)r+1}^{(M_0+t+t_1)r+s+s_1}|a_l|+|a_{(M_0+t+t_1+1)r}|+\left|a_{(M_0+t+1)r}\right|+\right.$$

$$+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\left(\left|a_{(2(M_0+t)+1)\left[\frac{r}{2}\right]}\right|+\left|a_{(2(M_0+t+t_1)+1)\left[\frac{r}{2}\right]}\right|\right)+\sum_{l=(M_0+t)r+1}^{(M_0+t)r+s_1}|a_l|+\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\left|a_{k+M_0+t)r}\right|+\right.$$

$$\left.\left.+\left|a_{k+(M_0+t+t_1)r}\right|+\left|a_{r-k+(M_0+t)r}\right|+\left|a_{r-k+(M_0+t+t_1)r}\right|\right)\right)<\varepsilon.$$

Применяя лемму 2, получаем, что ряд равномерно сходится на указанном отрезке. Аналогично проверяется равномерная сходимость ряда на остальных отрезках. Отсюда следует, что ряд (1) сходится для почти всех x. Устремляя $n \to \infty$, получаем представление (3) для суммы ряда (1) для почти всех x. При $r = 1$ класс (OB_r) совпадает с классом (B), и можно использовать представление для $f(x)$ и $g(x)$ из [5]. При $r = 2$ представление для $f(x)$ и его доказательство существенно упрощаются. Сходимость и представление суммы для ряда (2) получается аналогично.

4. Замечания

Аналогично доказываются следующие утверждения.

I. *Пусть* $r \in N, l \in Z$. *Если последовательность* $\{a_n\}$ *удовлетворяет условию*

$$\lim_{n\to\infty} a_n = 0 \text{ и } \sum_{n=0}^{\infty}\left(|\Delta_{2,r}a_{rn}| + \left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot|\Delta_{2,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}| + sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(|\Delta_{2,r}(a_{rn+k}+a_{rn+r-k})|+|\Delta_{1,r}(a_{rn+k}-a_{rn+r-k})|\right)\right)<\infty,$$

то ряд (1) сходится для почти всех x *и функция* $f(x+l\frac{2\pi}{r})$ *(*$f(x)-$ *сумма ряда (1)) может быть представлена почти всюду в виде*

$$f\left(x+l\frac{2\pi}{r}\right)=\sum_{n=0}^{\infty}\left(\Delta_{2,r}a_{rn}\cdot B_n^2(rx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot\cos l\pi\cdot\Delta_{2,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}BC_n^2\left(\frac{rx}{2}\right)+ sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\cos\left(kl\frac{2\pi}{r}+(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{2,r}\left(a_{rn+k}+a_{rn+r-k}\right)\cdot BC_n^2\left(\frac{rx}{2}\right)-\sin\left(kl\frac{2\pi}{r}+(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{1,r}\left(a_{rn+k}-a_{rn+r-k}\right)\cdot\overline{BC}_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)\right)\right).$$

II. *Пусть* $r \in N, l \in Z$. *Если последовательность* $\{a_n\}$ *удовлетворяет условию*

$$\lim_{n\to\infty} a_n = 0 \text{ и } \sum_{n=0}^{\infty}\left(|\Delta_{1,r}a_{r(n+1)}| + \left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot|\Delta_{1,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}| + sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(|\Delta_{1,r}(a_{rn+k}+a_{rn+r-k})|+|\Delta_{2,r}(a_{rn+k}-a_{rn+r-k})|\right)\right)<\infty,$$

то ряд (2) сходится для почти всех x *и функция* $g(x+l\frac{2\pi}{r})$ *(*$g(x)-$ *сумма ряда (2)) может быть представлена почти всюду в виде*

$$g\left(x+l\frac{2\pi}{r}\right)=\sum_{n=0}^{\infty}\left(\Delta_{1,r}a_{r(n+1)}\cdot\overline{B}_{n+1}^2(rx)+\left(\left[\frac{r}{2}\right]-\left[\frac{r-1}{2}\right]\right)\cdot\cos l\pi\cdot\Delta_{1,r}a_{rn+\left[\frac{r}{2}\right]}\overline{BC}_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)+ sign\left[\frac{r-1}{2}\right]\cdot\sum_{k=1}^{\left[\frac{r-1}{2}\right]}\left(\cos\left(kl\frac{2\pi}{r}+(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{1,r}\left(a_{rn+k}+a_{rn+r-k}\right)\cdot\overline{BC}_n^1\left(\frac{rx}{2}\right)+\sin\left(kl\frac{2\pi}{r}+(2k-r)\frac{x}{2}\right)\cdot\Delta_{2,r}\left(a_{rn+k}-a_{rn+r-k}\right)\cdot BC_n^2\left(\frac{rx}{2}\right)\right)\right).$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тихонов, А. Н.* Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 736 с.

2. *Potapov, M. K.* On the interrelation of the generalized Besov – Nikol'skii and Weyl – Nikol'skii classes of functions / Simonov B. V. // Analysis Mathematica, 1996.- N 22. – P. 299-316.

3. *Potapov, M. K.* Relations for moduli of smoothness in various metrics: functions with restrictions of the Fourier coefficients / Simonov B.V, and Tikhonov S.Yu. // Jaen. J. Approx., 2009.- T. 1(2).- P. 205-222.

4. *Симонов, Б. В.* Соотношения между модулями гладкости в разных метриках / Б. В. Симонов, И. Э. Симонова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. научн. ст. № 8(111) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 16). – С. 34–38.

5. *Ульянов, П. Л.* Применение А-интегрирования к одному классу тригоно-метрических рядов / П. Л. Ульянов // Матем. сборник, 1954. – Т. 35(77), № 3. – С. 469–490.

6. *Зигмунд, А.* Тригонометрические ряды / А. Зигмунд. – Т. 1. – М.: Издательство Мир, 1965.

7. *Симонов, Б. В.* О рядах по синусам и косинусам в классах L_{φ} / / Б. В. Симонов // Известия вузов. Математика, 2013.– № 10. – С. 24–42.

8. *Кудрявцев, Л. Д.* Математический анализ / Л. Д. Кудрявцев. – Т. 1. – М.: Высшая школа,1973. – 616 с.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.932.2

А. В. Алексеев, В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова

ОКРАШИВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ГРАДАЦИЯХ СЕРОГО НА ОСНОВЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ*

Волгоградский государственный технический университет
alekseev.yeskela@gmail.com

В статье описан метод автоматизированного окрашивания изображений в градациях серого на основе индивидуальных предпочтений. Рассмотрены существующие аналоги, описана методика окрашивания, основные методы и обоснование их выбора, приведены основные результаты.

Ключевые слова: окрашивание изображений; распознавание образов.

A. V. Alekseev, V. L. Rozaliev, Y. A. Orlova

COLORIZE GRAYSCALE IMAGE BASED INDIVIDUAL PREFERENCES

Volgograd State Technical University

This paper describes an automated method for coloring grayscale images based individual preferences. The existing commands described staining technique, basic methods and rationale for their choice, presents the main results.

Keywords: colorize image; pattern recognition.

Проблема окрашивание черно-белых изображений на данный момент полностью не решена, это связано со многими сложностями: во-первых, при удалении цвета теряется информация, точно восстановить которую невозможно; во-вторых, необходимо решить задачу распознавания всех объектов на изображении, которая сейчас тоже не решена. [5,6] Кроме того, черно-белое изображение занимает втрое меньше дискового пространства, чем цветное, что позволяет при сохранении качества хранить втрое больше информации.

Актуальность работы обусловлена необходимостью сокращения затрат и времени при минимальных потерях качества.

Целью работы является повышение эффективности окрашивания изображений в градациях серого за счет автоматизации распознавания сигнатур изображения.

На данный момент существуют различные подходы к окрашиванию изображений в градациях серого, самый широко распространенный и качественный подход – ручное (с помощью графических редакторов) окрашивание, но у этого метода есть два больших недостатки: большие денежные и трудозатраты. Например, фильм (последовательность кадров, которые являются изображениями) «17 мгновений весны» был окрашен за три года, стоимость колоризации одной минуты составила 3000$.

Следующим подходом является промежуточный этап между ручным и полностью автоматизированным окрашиванием. Суть его состоит в том, что пользователь выделяет области на изображении и указывает их цвет, оттенки цвета определяются на основе яркости окрашиваемого изображения.

Наиболее перспективным является автоматизированное окрашивание изображений. Суть этого подхода заключается в том, чтобы либо уменьшить, либо вообще исключить вмешательство человека в процесс окрашивания. Существуют различные методы реализации, такие как окрашивание на основе регрессии гистограммы яркости, выбор типа изображения, окрашивание на основе выбранного цветного изображения [1, 3].

На данный момент уже существует ряд аналогов, их сравнение с разрабатываемой системой приведено в табл. 1.

* Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 12-07-00266, 12-07-00270).

Аналоги в табл. 1 работают с изображением как набором пикселей, не пытаясь определить, что находится на самом изображении, из-за этого на насыщенных цветом изображениях могут быть получены некорректные результаты [7].

Таблица 1

Существующие аналоги

Название	Вмешательство пользователя	Интеллектуальный анализ сцены	Метод окрашивания	Дополнительные входные данные
Система LIU Shi-Guang и др.	Нет	Нет	На основе регрессии гистограммы яркости	Сходное цветное изображение
Система Yogesh Rathore и др.	Нет	Нет	Метод Велша	Сходное цветное изображение (или из БД)
Система Luiz Filipe M. Vieira и др.	Нет	Нет	Метод Велша	Сходное цветное изображение (или из БД)
Recolored	Выделение областей и указание их цвета	Нет	Пользовательский ввод цвета	–
AKVIS coloriage	Выделение областей и указание их цвета	Нет	Пользовательский ввод цвета	–
Система А. Д. Варламова и др.	Указание типа изображения	Нет	Машинное обучение	–
Разрабатываемая система	Нет	Да	Модифицированный метод Велша	Сходное цветное изображение (или из БД)

Методика окрашивания

Окрашивание черно-белого изображения подразумевает замену скалярного значения каждого пиксела на вектор (например, значения красного, зеленого и синего цветов).

Весь процесс окрашивания делится на два основных этапа в соответствии с методикой разработки программного обеспечения предложенной в [4]: поиск основной цветовой гаммы изображения и поиск и окрашивание известных объектов (рис. 1) Данные этапы не связаны между собой и могут выполняться независимо, что позволяет уменьшить почти вдвое (за исключением процесса объединения результатов) время окрашивания.

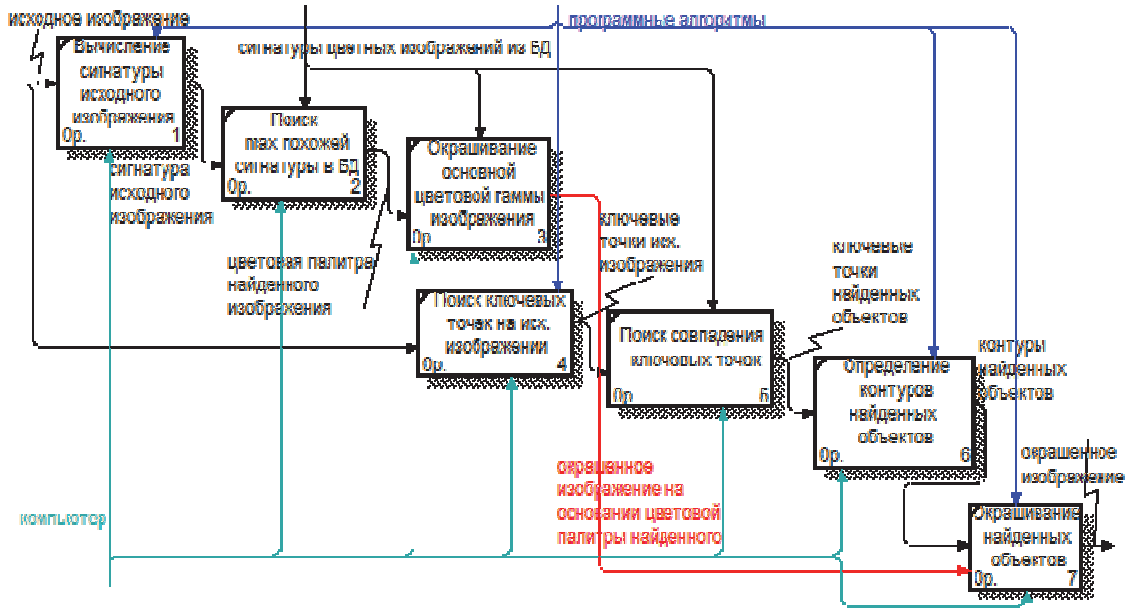


Рис. 1. Методика окрашивания

Определение основной цветовой гаммы изображения

Основная цветовая гамма изображения определяется путем сравнения сигнатуры входного изображения с сигнатурами изображений из базы данных. Сигнатура изображения показана на рис. 2. Это 128 значений с плавающей точкой, полученных из нормализованной к единице гистограммы яркости исходного изображения.

В работе [1] были проведены эксперименты для определения оптимального количества значений сигнатуры по критериям производительности и схожести с исходным изображением, 128 значений было выбрано как оптимальное.

В базе данных кроме сигнатуры хранится связанные с ней два канала цвета, полученные путем преобразования изображения в цветовую модель lab, каналы a и b.

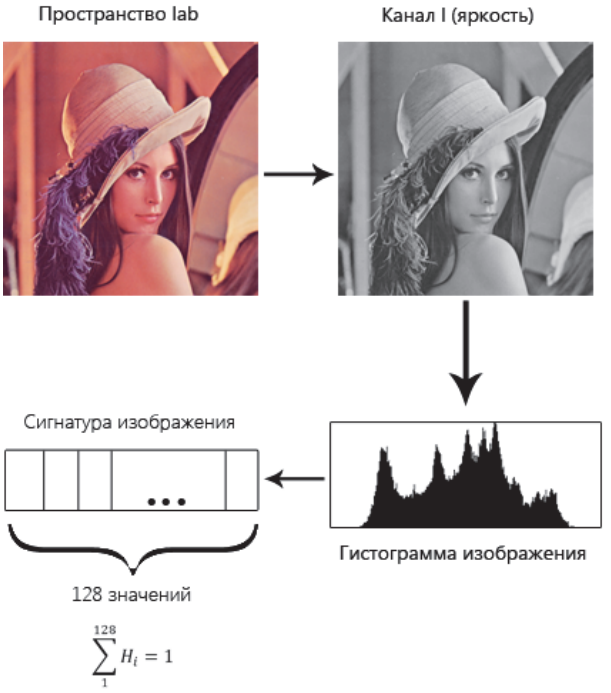


Рис. 2. Сигнатура изображения

Сигнатуры сравниваются корреляционным методом (1), он показал наиболее оптимальные результаты по сравнению с методами: хи-квадрата, пересечений, метода на основе расстояния Бхатачария.

$$d_{correl}(H_1, H_2) = \frac{\Sigma_i^N H_1'(i) * H_2'(i)}{\sqrt{\Sigma_i^N H_1'^2(i) * H_2'^2(i)}}, \quad (1)$$

где H_1 и H_2 – сравниваемые сигнатуры, N – количество значений сигнатур (у H_1 и H_2 одинаковое число значений),

$$H_k'(i) = H_k(i) - \left(\frac{1}{N}\right)\left(\sum_j^N H_k(j)\right) \quad (2)$$

Если $d_{correl} = 1$, то максимальное совпадение, -1 – максимальное различие, 0 – нет корреляции.

После выбора изображения цвет переносица с изображения-источника на целевое изображение с помощью модифицированного метода переноса цвета Велша. [2]

Модифицированный метод переноса цвета Велша.

Для повышения качества переноса цвета в исходном методе был изменен размер сетки.

Рис. 3. Модифицированный метод переноса цвета Велша

Результат работы модифицированного метода показан на рис. 3. Опишем шаги метода:

1. Канал l (модель lab) изображения-источника разбивается на 400 участков (сетка 20x20).

2. В каждом участке выбирается случайно один пиксель.

3. В его окрестности 5x5 вычисляется математическое ожидание и дисперсия.

4. Сравниваются математическое ожидание и дисперсия изображений

5. В случае близости значений цвет переносится на соответствующую окрестность с изображения-источника (каналы a и b).

Окрашивание объектов на изображении.

Методы распознавания основываются на двух ключевых признаках – цвете и форме объекта, в условиях задачи мы вынуждены отказаться от методов распознавания, основанных на цвете объекта.

Объекты на изображении будут локализоваться методом SURF, уточняться их границы будут с помощью поиска контуров и сравнения инвариантных Hu-моментов.

Опишем объект: Объект={K, P, C}, где: K – инвариантный Hu-момент контура объекта; P – ключевые точки объекта, полученные методом SURF; C – цветовая палитра объекта, соотношения цвета и яркости.

Заключение.

В данной статье был проведен обзор существующих аналогов для выявления их слабых и сильных сторон, на основе анализа было сформулировано направление работ.

Рассмотренный подход позволяет за счет окрашивания объектов на изображении повысить качество окрашивания изображений в градациях серого. Описанная методика позволяет этого добиться без увеличения времени обработки, благодаря независимости этапов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Vieira, L.F.M.* Fully automatic coloring of grayscale images/ L.F.M. Vieira, E.R.D. Nascimento, F.A.F. Jr., R.L. Carceroni, R.D. Vilela, A.D.A. Araújo, // Image Vision Comput., 2007, pp.50-60.

2. *Welsh, T.*, Ashikhmin, M. and Mueller, K., Transferring color to greyscale images, In: Proceedings of 29th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, ACM-SIGGRAPH2002, pp. 277- 280, ACM Press, New York, USA, 2002.

3. *Yogesh Rathore*, Colorization of Gray Scale Images using Fully Automated Approach / Yogesh Rathore, Avinash Dhole, Ramnivas Giri, Umesh Agrawal // IJECT Vol. 1, Issue 1., 2010.

4. Automated identification of human emotions based on analysis of body movements / Заболеева-Зотова А.В., Бобков А.С., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Половинкин А.И. // Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23-26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conferences Interfaces and Human Computer Interaction and Game and Entertainment Technologies 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 299-304.

5. Formalization of inital stage of designing multicomponent software / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Фоменков С.А., Петровский А.Б. // Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23-26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conference Intelligent Systems and Agents 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 107-111.

6. *Заболеева-Зотова, А.В.* Автоматизация начальных этапов проектирования программного обеспечения / *Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А* // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 6 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 8). – С. 121–124.

7. *Камаев, В. А.* Об одном нейросетевом подходе к идентификации сложных систем / В. А. Камаев, М. В. Щербаков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2004. – № 3. – С. 20–24.

8. Применение нечетких темпоральных высказываний для описания движений при эмоциональных реакциях / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев, А. С. Бобков // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 3 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 10). – С. 60–64.

9. Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев, А. С. Бобков // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 59–62.

10. Автоматизация построения векторной модели тела человека / В. Л. Розалиев, Ю. А. Орлова, А. А. Шпирко, Н. С. Дорофеев // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2013. – № 2, т. 9. – С. 102–106.

УДК 681.513.2:57.042/047:[620.9:005.93:502.174]::004

П. В. Ботвинкин

О МЕТОДАХ ЗАЩИТЫ ОТ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ФАКТОРОВ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Волгоградский государственный технический университет

pavel.botvinkin@gmail.com

В статье рассмотрены возможные неблагоприятные факторы, способные воздействовать на автоматизированные информационно-измерительные системы контроля и учета энергоресурсов; описаны основные методы защиты от них.

Ключевые слова: АСКУЭ, автоматизированные информационно-измерительные системы контроля и учета энергоресурсов, энергосбережение, защита оборудования, информационная безопасность.

P. V. Botvinkin

ABOUT METHODS OF PROTECTION FROM ADVERSE FACTORS THAT AFFECTING AUTOMATED INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS FOR CONTROL AND ENERGY RESOURCES ACCOUNTING

Volgograd State Technical University

The articlediscusses the possibleadversefactors that couldaffect theautomatedinformation-measuringsystems forcontrol andenergy resourcesaccounting, described the main methodsof protection against them.

Keywords: automatic meter reading, automated information and measurement systems for controland accounting of energy resources, energy saving, equipment protection, information security.

Процессы энергосбережения представляютсобоюреализацию правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование топливно-энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии. Проблема энергосбережения многогранна и весьма актуальна. Для России она более чем актуальна, ибо энергоресурсы являются одним из основных источников жизнеобеспечения государства. Трудно переоценить значимость скорейшей реализации энергосберегающих стратегий для всех сфер жизни общества. [1]

АИИС КУЭ – автоматизированная информационно-измерительная система контроля и учета энергоресурсов, позволяющая осуществлять контроль за потреблением энергоресурсов, а также получать достоверные данные, на основании которых разрабатываются мероприятия по энергосбережению, – совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих дистанционный сбор, хранение и обработку данных об энергетических потоках.[2, 3]

Системы АИИСКУЭ являются важным звеном в регулировании энергетической отрасли России. От соответствия сведений, предоставляемых системами, требованиям достоверности и оперативности зависит эффективное функционирование как поставщиков, так и потребителей электроэнергии.[4]

При проектировании подобных систем необходимо принять во внимание следующие области знаний: разработка интеллектуальных систем, основанных на принципе функционирования биологических объектов, интеллектуальных систем управления, гибридных интеллектуальных систем, интеллектуальной обработки данных и извлечения знаний из данных (и аналогичных), эволюционных интеллектуальных систем. [5]

Наиболее важнымиаспектами функционирования электронно-измерительнойсистемы являются бесперебойность ее работы и точность показаний, получаемых с ее помощью.

Нарушение работоспособности автоматизированных систем, в том числе и по причине нарушения установленного режима защиты информации, может привести к серьезным последствиям.[6,7]

Проанализировав возможныенеблагоприятные факторы, можно выделить следующиенаправления защиты электронно-измерительных систем:

– защита от естественных природных факторов:климата, солнечного излучения, экстремальных температур, дождя, повышенной относительной влажности воздуха, повышенного давления, пыли, песка, молний;

– защита от биологических факторов: животных (насекомых, грызунов), грибков, плесени;

– защита от техногенных воздействий: перепадов напряжения, агрессивной окружающей среды, радиации;

– защита от злонамеренного человеческого вмешательства: механического воздействия, электрического и магнитного воздействия, информационная защита.

Рассмотрим подробнее перечисленные направления.

Естественные воздействия обусловлены совокупностью факторов (физических, химических, термобарических и прочих), способных оказывать прямое или косвенное немедленное или отдаленное воздействие на работоспособность и точность показанийАИИСКУЭ.

В настоящее время действующим является стандарт ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89) «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками», определяющий требования в части стойкости оболочек и электрооборудования в целом к внешним воздействующим факторам, а также методы и режимы контроля и испытаний для проверки оболочек электрооборудования на соответствие установленной степени защиты.

В стандарте [8] указываются степени защиты, обеспечиваемые оболочками.

Показатель защиты электроприборов (IP) состоит из двух цифр.Первая показывает защиту от проникновения твердых частиц внутрь конструкции: от нуля до шести. Вторая показывает защищенность от влаги: от нуля до восьми.

Наряду с показателями защиты от внешних воздействий существуют понятия климатического исполнения и категории размещения изделия. Климатическое исполнение показывает, в каком диапазоне температур эксплуатируется устройство.Категория размещения определяет ряд внешних факторов (например, влажность) в месте эксплуатации изделия.

Среди технических приспособлений для повышения защищенности внутренних компонентов узлов АИИСКУЭ от естественных природных факторов можно отметить, например, фильтры с магнитной обработкой воды [9]. Подобные фильтры позволяют отсеивать магнитящиеся фракции, содержащиеся в воде, проходящей через водяной счетчик, тем самым повышая его износостойкость и, как следствие, срок службы.

Повреждения кабелей, соединяющих узлы АИИС КУЭ, грызунами могут повлечь за собой серьезные последствия, вплоть до выхода всей системы из строя. Поврежденными могут оказаться кабели датчиков, электрические силовые кабели и кабели ЛВС.

Одним из старых методов является установка механических ловушек и отравленных приманок. Также популярным и достаточно эффективным методом борьбы с грызунами являются ультразвуковые отпугивающие приборы [10].

В настоящее время все чаще стали использоваться охранно-защитные дератизационные системы (ОЗДС). Блокирующие элементы ОЗДС – электрические барьеры, устанавливаемые на возможных путях миграции грызунов. На поверхности барьера располагается проводящая ток жила. Грызун, приблизившись к такому проводнику ближе чем на 2 сантиметра, испытывает боль от высоковольтного пробоя оставаясь при этом живым. Грызуны будут избегать повторений подобного удара всю оставшуюся жизнь и попытки проникнуть через барьер не предпримут. [11]

Также существует несколько патентов и разработок, направленных на защиту кабелей и проводов от грызунов, суть которых состоит в армировании оболочек кабелей с помощью различных материалов. Однако применение подобных решений на практике представляется более затратным по сравнению с перечисленными выше методами борьбы с грызунами.

Помимо вреда для кабелей и проводов, грызуны, наряду с насекомыми способны нанести вред проникновением внутрь электрических приборов, вызывая короткие замыкания и приводя к отказу электрических узлов системы.

Недопущение воздействия биологических факторов на работу любой системы, в том числе, и АИИС КУЭ, должно осуществляться на уровне организации или предприятия путем реализации необходимых мер и соблюдения действующих санитарно-эпидемиологических норм.

Устройства защиты приборов от перепадов напряжения предназначены для автоматического отключения напряжения при его изменении и автоматического включения через заданный промежуток времени после нормализации напряжения. Реле напряжения позволяет защитить электроприборы, подключенные к сети, от опасных для них перепадов напряжения. При всех недопустимых изменениях напряжения (снижении или повышении, как резком, так и постепенном) реле напряжения отключит

электроприборы от сети до тех пор, пока напряжение в сети не вернется в допустимые пределы [12].

Подобные приборы защиты от перепадов напряжения могут применяться для защиты отдельных узлов АИИС КУЭ от перепадов напряжения, вызванных как техногенными причинами, так и естественными (влияние молний на электросеть).

Самый простой способ защиты АИИС КУЭ от злонамеренного механического вмешательства со стороны человека – физическое ограничение доступа к местам размещения узлов системы, установка узлов в труднодоступных местах, защита помещений при помощи замков, установка компонентов в запирающиеся монтажные шкафы.

Однако не всегда эти меры способны предотвратить доступ к узлам злоумышленников. Например, конструктивные особенности счетчиков воды предполагают их подверженность к воздействию магнитным полем. Злоумышленник, используя обычный магнит, способен повлиять на показания такого счетчика.

Для защиты от магнитных воздействий обычно применяются специальные экранирующие кожухи, а чувствительные элементы прибора располагаются на максимально удаленном от кожуха расстоянии. Хорошо зарекомендовало себя опломбирование счетчика специальной капсулой с магнитной жидкостью. В случае воздействия магнитным полем на прибор, жидкость в капсуле смещается безвозвратно, а показания прибора с поврежденной таким образом пломбой считаются недействительными.

Еще одним способом вмешательства в целостность АИИС КУЭ является несанкционированное подключение к каналам связи между компонентами системы. Обычно таким каналом является проводная или беспроводная локальная вычислительная сеть.

Подключившись к локальной сети, в которой работают узлы АИИС КУЭ, злоумышленник получает возможность доступа к данным, передаваемым между этими узлами.

В случае беспроводной сети для повышения уровня безопасности должны использоваться устойчивые к взлому протоколы шифрования (например, WPA2).

В случае же проводной сети можно обеспечить контроль достоверности передаваемых от приемника к источнику данных, например, с помощью шифрования или электронной цифровой подписи.

Также возможна ситуация, когда злоумышленник получает доступ к данным извне. Этому неблагоприятному сценарию наиболее подвержены системы, имеющие клиент-серверную организацию, а также системы, предоставляющие доступ к информации через веб-интерфейсы.

Уязвимость системы увеличивается, если она предоставляет пользователю возможность удаленного доступа посредством интернета. В этом случае видится необходимым применение криптографических протоколов, обеспечивающих безопасность связи (например, SSL), ицифровой электронной подписи. Эффективным методом защиты также является ограничение доступа к серверной части системы посредством фильтрации клиентскихIP-адресов, например, средствами брандмауэра.

Попытки злонамеренного изменения показаний измерительных приборов и счетчиков, а также попытки получить несанкционированный доступ и любым образом повлиять на информацию, получаемую и передаваемую АИИС КУЭ, наказуемы в соответствии со статьей 159 Уголовного Кодекса РФ — «Мошенничество».

Данные об энергопотреблении могут иметь большую важность.Возьмем для примера случай, когда жилые помещения оборудованыизмерительной системой, являющейся частью «умного дома».Злоумышленник, получив доступ к информации извне, может определить, находится ли человек в помещении в определенный момент времени. Располагая подобными данными, злоумышленник может организовать проникновение внутрь жилища, когда владельца нет дома.

Если же такая система предоставляетвозможность управления через веб-интерфейс и не имеет должного уровня информационной защищенности, злоумышленник, получивнесанкционированный доступ, может нанести вред подконтрольным узлам системы.

Данные об энергопотреблении такжемогут отражать финансовое состояние хозяйствующего субъекта и представлять собой коммерческую тайну.

Кража подобной информации наказуема в соответствии со статьей 158 УК РФ – «Кража».

Защита АИИС КУЭ от неблагоприятных факторов и злонамеренного человеческого воздействия является актуальной и сложной задачей. Для обеспечения должного уровня защиты

необходим многогранный подход, в каждом конкретном случае зависящий от типа превалирующего неблагоприятного фактора. В общем виде задача защиты такой системы сводится к использованию специальных технических, технологических, программных, аппаратных и программно-аппаратных решений; к проведению комплекса мероприятий по соблюдению правоустанавливающих и законодательных норм и актов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ботвинкин, П. В*. Автоматическое управление параметрами потребления энергетических ресурсов на основе полученной статистической модели / П.В. Ботвинкин, В.С. Лукьянов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, No 4–4. – С. 1069–1071.

2. Особенности расчетов за электроэнергию (мощность) в 2012 году на розничном рынке электроэнергии и мощности (для группы «прочие потребители») [Электронный ресурс] : Электронная презентация ООО УК «МРГ-Инвест» / ООО УК «МРГ-Инвест». – Режим доступа: http://www.mrginvest.ru/toconsumer/presentations/rrem 2012.pdf – С. 18.

3. Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии [Электронный ресурс] : Материал из Википедии – свободной энциклопедии : Версия 56150044, сохраненная в 07:59 UTC 10 июня 2013 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон.дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2013. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/?oldid=56150044

4. *Жабин, С. А*. Вопросы информационной безопасности автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии / С. А. Жабин // Алгоритмы, методы и системы обработки данных, 2007. № 12. – С. 75–80.

5. *Камаев, В. А*. Интеллектуальные системы автоматизации управления энергосбережением /В. А. Камаев, М. В. Щербаков, А. Бребельс //Открытое образование, 2011. № 2–2. – С. 227–231.

6. *Камаев, В. А*. Анализ методов оценки качества функционирования и эффективности систем защиты информации на предприятиях электроэнергетики / В. А. Камаев, В. В. Натров // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 1 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – С. 74–76.

7. *Камаев, В. А*. Разработка и применение модели автоматизированной системы управления информационными процессами к задаче мониторинга состояния оборудования / В. А. Камаев, В. В. Лежебоков // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2009. № 9. – С. 18–22.

8. ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89). Степени защиты, обеспечиваемые оболочками.

9. *Асташонок, Г. Н.* Фильтры с магнитной обработкой воды / Г. Н. Асташонок // Энергоэффективность, 2003. № 4. – С. 10.

10. *Бахтырева, Н. Г.* Результаты исследования влияния на грызунов электрофизических методов / Н. Г. Бахтырева // Вестник ЧГАА, 2012. Т. 60. – С. 21–23.

11. Повреждения грызунами кабелей связи и меры защиты от них [Электронный ресурс] : Проектирование и монтаж охранно-защитных дератизационных систем. – Режим доступа: http://ozds.su/ssylki_ozds_i_kabeli.html

12. Устройства защиты электроприборов от перепадов напряжения [Электронный ресурс] : УКРРЕЛЕ / ООО «УКРРЕЛЕ». – Режим доступа: http://www.ukrrele.com/devices-protection.htm

УДК 004.37

В. И. Витехновский, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА*

Волгоградский государственный технический университет

vladimir.rozaliev@gmail.com

В работе предлагается комбинированный подход определения тональности текста. Текст анализируется методом машинного обучения с учителем и методом ключевых слов на основе тональных словарей. Результаты методов анализируются и комбинируются с целью получения конечного результата.

Ключевые слова: сентимент-анализ, определение тональности текста, информация.

V. I. Vitechnovskiy, Y. A. Orlova, V. L. Rozaliev

AUTOMATIC DETECTION OF TEXT TONE

Volgograd State Technical University

The paper proposes a combined approach of defining tone of the text. The text is analyzed using machine learning with the teacher and the method of keywords based on tonal dictionaries. The results are analyzed and methods are combined to produce the final result.

Keywords: sentiment analysis, the definition of key text, information.

В настоящее время активно развивается такие сферы жизни человека как обмен информации средствами сети Интернет. Увеличение количества социальных сетей, блогов, форумов, веб-ресурсов приводит к появлению таких задач, как анализ текстов пользователей по различным вопросам (отношения к событиям, от-

* Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 12-07-00266, 12-07-00270).

зывы о товарах, услугах, мнения о высказываниях, оценка пользователей по отношению к другим людям). [5]

Одной из основных проблем при анализе текста является сентимент-анализ. [2, 3] Сентимент-анализ, или анализ тональности текста, – это быстро развивающееся направление компьютерной лингвистики, основной задачей которого является выявление в документе эмоционально окрашенной лексики и эмоциональной оценки объектов автором. "Эмоциональная оценка, выраженная в тексте, также называется тональностью, или сентиментом текста" [1]. Трудности в этом процессе вызывает определение оценки автора отношения к объектам, описываемым в тексте. Под тональностью понимается эмоциональная оценка, негативное, позитивное или нейтральное отношение автора к некоторому объекту в тексте, которое может быть определено, как совокупность тональностей составляющих его лексических единиц и правилами их сочетания. [6, 7]

Целью данной работы является повышение качества определения тональности текста.

Для достижения поставленной цели были сформированы и частично решены следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методов определения тональности текста
2. Разработать и исследовать модель анализа тональности текста
3. Разработать метод, основанный на комбинированном подходе агрегации данных, полученных в результате определения тональности существующими методами
4. Разработать автоматизированную систему анализа тональности текста.

В данной работе были рассмотрены подходы определения тональности (таблица 1): на основе ключевых слов, на основе правил, определение методами машинного обучения с учителем, определение методами машинного обучения без учителя.

Таблица 1

Системы / Криткрии	Выполняется автоматически	Не требует наличие исходных данных	Высокая точность	Применимость к разным тематикам	Простота в применении
Подход, на основе правил	нет	нет	нет	да	да
Подход, на основе словарей	нет	нет	да	да	да
Подход, на основе машинного обучения с учителем	да	нет	да	да	нет
Подход, на основе машинного обучения без учителя	да	да	нет	нет	да

Каждый подход обладает своими недостатками: высокие требования к обучающей коллекции данных в подходе, основанном на машинном обучении с учителем, точность определения тональности слов в словарях, отнесение текста к той или иной тематике для применения правил тональности.

Также были рассмотрены системы, решающие задачу определения тональности текстов на русском языке [5].

Таблица 2

Системы / Криткрии	Выделение субъектов и объектов	Оценка колличественной оценки текста	Учитывает семантику русского языка	Применимость к различным тематикам
Компонент определения тональности	да	нет	да	да
SentiStrength	нет	да	нет	да
ВААЛ	да	да	нет	нет
RCO Fact Extractor	да	нет	да	нет

Все системы применяют в работе тот или иной подход определения тональности. С учетом выявленных особенностей, в работе было принято решение использовать комбинированный подход определения тональности текста, который основан на методе машинного обучения с учителем и методе ключевых слов с использованием тональных словарей. Гипотеза

работы состоит в том, что комбинированный подход, основанный на агрегации данных, полученных в результате определения тональности методами машинного обучения и методом ключевых слов, обладает более высокой точностью по сравнению с существующими подходами.

Общий алгоритм семантического анализа текста состоит из следующих блоков [3]: предварительная обработки текста, синтаксический и семантический анализ и построение моделей программного обеспечения.

Предварительная обработка текста осуществляется с использованием аппарата конечных автоматов. На выходе алгоритма предварительной обработки текста имеется набор таблиц: таблицы разделов, предложений и лексем. [2]

В ходе работы конечного автомата символы, поступающие на его вход, накапливаются в буфере. В определенных состояниях конечного автомата осуществляется запись текущего содержимого буфера в одну из таблиц, после чего буфер опустошается. Работа автомата продолжается до достижения конечного состояния.

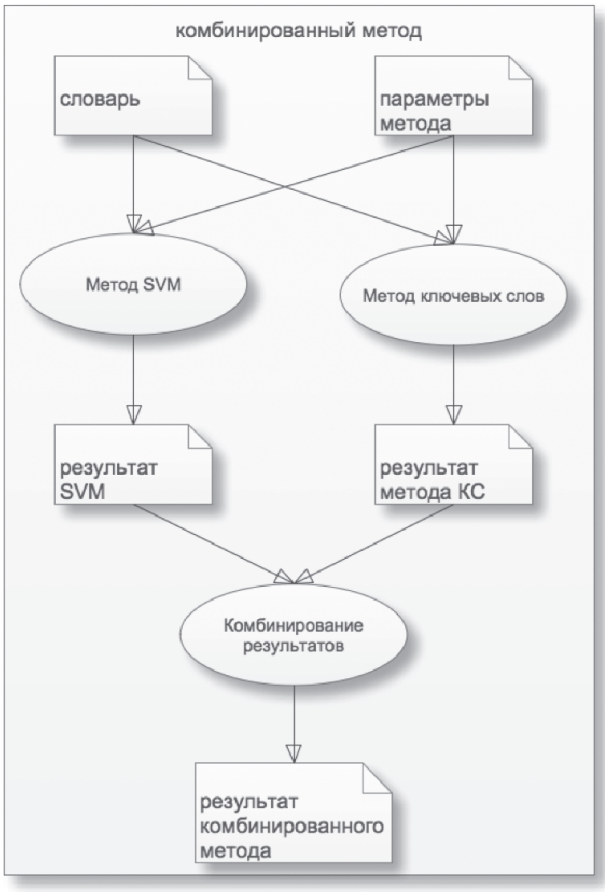
На этапе формирования словаря происходит выделение общих признаков для этого текста: выделение слов и словосочетаний, которые встречаются в тексте более 3 раз, считаются признаками словаря.

На этапе взвешивания для каждого признака из словаря вычисляется и сохраняется глобальный вес, определяющий значимость признака для решения задачи анализа тональности. [8]

На следующем этапе формируется векторная модель текстов для дальнейшего обучения SVM-классификатора. В векторной модели текст представляется в виде вектора, количество компонентов N которого совпадает с количеством признаков в словаре. Каждый компонент является весом соответствующего признака в данном тексте. Для вычисления весов используется подход TF.IDF.

Этап обучения SVM–классификатора – построение в N-мерном пространстве признаков гиперплоскости, каждая из которых разделяет векторы двух классов. [4]

На этапе настройки параметров происходит поиск оптимальных параметров для метода ключевых слов и для алгоритма комбинирования результатов классификации. Процесс комбинирования результатов представлен на рисунке.



Процесс комбинирования результатов двух методов

Результаты методов комбинируются по разработанному алгоритму, который позволяет избежать конфликтов при сравнении результатов.

Разработанный метод определения тональности дает высокие показатели качества. Точность и полнота определения устанавливается на основе оценки экспертов.

Результаты работы могут быть применены в следующих областях: маркетинговые исследования, реклама, оценка сотрудников кадровыми службами, в области политтехнологии и других.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Pang B., Lee L.,* Vaithyanathan S. Thumbs up? Sentiment classification using machine learning techniques // Proceedings of EMNLP-02, the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Association for Computational Linguistics, Philadelphia, US, 2002, pp. 79–86.

2. Automated identification of human emotions based on analysis of body movements / Заболеева-Зотова А.В., Бобков А.С., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Половинкин А.И. // Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23-26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conferences Interfaces and Human Computer Interaction and Game and Entertainment Technologies 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 299-304.

3. Formalization of inital stage of designing multi-component software / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Фоменков С.А., Петровский А.Б. // Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23-26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conference Intelligent Systems and Agents 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 107-111.

4. *Заболеева-Зотова, А. В.* Моделирование лексического анализа текста технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 2 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 2. – С. 50–53.

5. *Заболеева-Зотова, А. В.* Автоматизация процедур семантического анализа текста технического задания / А. В. Заболеева-Зотова, Ю. А. Орлова // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 3). – С. 52–55.

6. *Орлова, Ю. А.* Анализ и оценка эмоциональных реакций пользователя при речевом взаимодействии с автоматизированной системой / Орлова Ю.А., Розалиев В.Л. // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 83–85.

7. *Орлова, Ю. А.* Обзор современных автоматизированных систем распознавания эмоциональных реакций человека / Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 3 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 10). – С. 68–72.

8. *Пазельская А., Соловьев А.* Метод определения эмоций в текстах на русском языке: труды международной конференции "Диалог, 2011". Р. 510–522

9. Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Бобков А.С. // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 59–62.

10. *Сокирко, А. В.* Семантические словари в автоматической обработке текста // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: М. 2001.

УДК 678.67.017; 519.682

Е. В. Дербишер, Д. С. Патракеев, В. Е. Дербишер

ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ОЦЕНОК ПРИ УПРАВЛЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Волгоградский государственный технический университет

derbisher2@vstu.ru

В статье рассмотрены методы обработки и анализа результатов исследований по оценке свойств материалов, позволяющие решать задачи планирования научно-технологического эксперимента и принятия решений при их проектировании и выборе.

Ключевые слова: ранжирование, геометрический анализ, нечеткие множества, свойства резин.

E. V. Derbisher, D. S. Patrakeev, V. E. Derbisher

APPLICATION OF CRITERIA ESTIMATES AT MANAGEMENT OF COMPOSITE MATERIALS

Volgograd State Technical University

In article methods of processing and the analysis of results of researches on an assessment of properties of the materials, allowing to solve problems of planning of scientific and technological experiment and decision-making at their design and a choice are considered.

Keywords: ranking, geometric analysis, fuzzy sets, rubber properties.

Разработка критериев оценки композиционных материалов в частности полимерных (ПКМ) с заданными свойствами, относится к задачам системного анализа, предназначенным для количественной поддержки принятия решений, например при проектировании этих материалов, продвижений их на технологический рынок и т.д. Учитывая, что факторное пространство, описывающее свойства ПКМ включает десятки параметров, в ряде случаев можно оперировать интегральными оценками и обобщенными закономерностями, которые могут сократить время аналитика при выработке стратегии проектирования ПКМ.

В возможных случаях эти закономерности представляются регрессионными зависимостями [1, 2] или представляются в табличной форме, что оказывается недостаточным для стратегических выводов. За примерами далеко ходить не надо – укажем лишь на ряд попыток получить интегральные оценки, представленных в работах [1,3].

Рассмотрим наши предложения и интегральные показатели на выборочных примерах. Так, в работе [4] приведена таблица результирующая свойства таких ПКМ как вулканизаты, которые получаются из резиновых смесей (табл. 1).

Таблица 1

Выборочные свойства вулканизатов [3]

Показатель	Смесь									
	01	02	03	04	1	2	3	4	5	6
Твердость по Шору А, усл. ед.	61	67	65	63	62	64	66	66	68	68
Эластичность по отскоку, %										
при 20°С	12	12	31	32	36	31	29	32	30	28
при 100°С	62	55	49	48	49	47	46	50	48	45
Условное напряжение при удлинении, МПа										
при 100%	–	–	3,5	2,9	3,3	3,1	2,7	2,6	3,9	3,3
при 200%	–	–	9,0	6,8	9,3	8,0	6,9	6,8	12,4	9,3
при 300%	15,1	16,1	17,1	12,6	18,0	15,5	13,2	12,7	–	17,4
Условная прочность при растяжении, МПа	19,0	16,1	17,9	16,3	18,0	18,2	20,6	17,1	18,9	20,2
Относительное удлинение при разрыве, %	339	292	309	363	297	334	405	374	260	341
Сопротивление раздиру, кН/м	32,8	42,7	38,0	43,9	37,7	44,6	43,6	49,7	38,0	45,7
Сопротивление разрастанию трещин, тыс. циклов	–	–	–	–	9,50	16,20	20,25	50,00	5,40	5,40
Истираемость, $м^3$/ТДж	–	–	–	–	109	90	126	89	106	112
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом×м	–	–	–	–	262,0	1,5	1,3	5,6	7,0	2,4
Работа разрушения, МДж/$м^3$	–	–	–	–	17,1	20,0	20,9	21,6	20,0	30,2
Относительный гистерезис, %	11,9	16,3	19,8	21,0	17,1	19,9	20,9	21,6	12,7	16,9

Резиновые смеси включают в себя следующие ингредиенты: каучук SE SLR-4400, каучук SE SLR-4601, стеариновую кислоту, сульфенамид Ц, оксид цинка, лапрамол 294, ТУ N220 (исходный, с нанесенным лапрамолом, модифицированный), серу. Регулируя состав можно управлять свойствами ПКМ. Здесь в качестве свойства может выступать интегральный показатель.

Другая работа [5] содержит основную информацию о свойствах резин (вулканизатов) в виде следующей таблицы (табл. 2).

Таблица 2

Выборочные свойства кабельных резин [5]

Показатель	Марка смеси				
	К-69	К-69Т	К-1520	К-673	Силикон 300/60Б
Внешний вид, цвет	Белый	Белый	Белый	Белый	Белый
Твердость по Шору А, усл. ед.	60-68	54-66	50-58	58-68	60-68
Условная прочность при растяжении, МПа	7,6-8,8	7,0-8,2	7,6-8,8	7,3-8,4	7,5-9,0
Относительное удлинение при разрыве, %	310-480	310-600	350-550	300-420	380-450
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом×см, $\times 10^{-14}$	5	5	5	5	5
Электрическая прочность, кВ/мм	20-22	20-22	20-22	20-22	20-22
Диэлектрическая проницаемость, не более	3,5	4,0	3,5	3,5	3,5
Тангенс угла диэлектрических потерь, не более	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

Изучая содержание таблиц, почти невозможно сказать какой состав лучше, а главное – в каком исследовательском направлении двигаться. В то же время ранее некоторые из авторов данной статьи показали [6], что если применить ряд последних достижений в области системного анализа, например, прикладное использование нечетких множеств (НМ), можно выявить интегральные закономерности и произвести управленческие дополнительные при создании ПКМ с заданными свойствами.

Напомним, что математическая сущность этого метода заключается в преобразовании данных в НМ; применительно к тематике данной статьи: $S = \{s_i | i = \overline{1,n}\}$ – множество, состоящее из n образцов резинотехнических изделий. Для каждого si образца задано m характеристик Qij, $j = \overline{1,m}$. По данным таблицы 1 m = 11, а по данным табл. 2 m = 7. Выделяется эталон s0 и его характеристики Q0j, и проводится ранжирование по отношению к нему.

Для вычислений в данной работе применялась функция принадлежности [7] следующего вида:

$$exp\left(-\frac{ln2}{\delta_{ij}^2}(x_{ij} - q_{ij})^2\right), i = \overline{0,n}, j = \overline{1,m},$$

где qij - середина отрезка; δij – радиус отрезка; xij – переменная с областью значения Gj.

Можно указать также, что для операций с НМ имеется разработанный одним из авторов программный продукт [8], который упрощает вычисления.

Представим табл. 1 в следующем виде (см. табл. 3).

Таблица 3

Свойства вулканизатов (исходные данные для расчетов)

№ параметра (j)	Физико-механические свойства	Смесь, (i)									
		01	02	03	04	1	2	3	4	5	6
1	Твердость по Шору А, усл. ед.	61	67	65	63	62	64	66	66	68	68
2	Эластичность по отскоку при 100°С, %	62	55	49	48	49	47	46	50	48	45
3	Условное напряжение при удлинение 200%, МПа	(9,6)	(9,6)	9,0	6,8	9,3	8,0	6,9	6,8	12,4	9,3
4	Условная прочность при растяжении, МПа	19,0	16,1	17,9	16,3	18,0	18,2	20,6	17,1	18,9	20,2
5	Относительное удлинение при разрыве, %	339	292	309	363	297	334	405	374	260	341
6	Сопротивление раздиру, кН/м	32,8	42,7	38,0	43,9	37,7	44,6	43,6	49,7	38,0	45,7
7	Сопротивление разрастанию трещин, тыс. циклов	(27,70)	(27,70)	(27,70)	(27,70)	9,50	16,20	20,25	50,00	5,40	5,40
8	Истираемость, $м^3$/ТДж	(107,5)	(107,5)	(107,5)	(107,5)	109,0	90,0	126,0	89,0	106,0	112,0
9	Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом×м	(131,65)	(131,65)	(131,65)	(131,65)	262,00	1,50	1,30	5,60	7,00	2,40
10	Работа разрушения, МДж/$м^3$	(23,65)	(23,65)	(23,65)	(23,65)	17,10	20,00	20,90	21,60	20,00	30,20
11	Относительный гистерезис, %	11,9	16,3	19,8	21,0	17,1	19,9	20,9	21,6	12,7	16,9

Проведя ранжирование десяти составов резиновых смесей по 11 параметрам (табл. 1), получили результаты, которые представлены в табл. 4. Результатом расчета в этом случае является интегральная оценка vi («ранг») и вулканизаты в соответствии с их обозначением можно расположить в порядке убывания ранга: 3; 6; 01; 02; 4; 04; 03; 1; 2; 5.

В тоже время этот метод обладает некоторыми особенностями, и дает лучшие результаты при большом объеме выборки.

Для более простых случаев нами разработана упрощенная методика обработки табличных данных, основанная на применении к ним линейного преобразования, в результате которого размах изменений (aj) у всех параметров оказывается одинакового порядка от 0 до 1.:

$$aj = Mj - mj,$$

где mj – минимальное значение j-того параметра, Mj – максимальное значение j-того параметра.

В этом случае абсолютное и относительное изменение значений параметров совпадают. С точки зрения пространственных представлений после преобразования область исходных данных представляет собой m-мерный куб в пространстве Rm, ограниченный минимальными (mj) и максимальными (Mj) значениями преобразованных параметров. Далее проведя соответствующие подстановки получаем:

$$x_j' = \frac{x_j - m_j}{a_j}, j = \overline{1, m},$$

и производим вычисление интегрального показателя q [9]. Для выводов основанием является отнесение q, к той или иной области G разбиения куба.

Для примера проведем вычисление q по данным табл. 3 на примере вулканизата 01:

a01 = 68-61=7; x1'=(61-61)/7=0, x2'=1,00, x3'=0,50, x4'=0,64, x5'=0,54, x6'=0, x7'=0,50, x8'=0,50, x9'=0,50, x10'=0,50, x11'=0.

В итоге вычислений обобщающий интегральный показатель свойства вулканизата будет равен:

q = 12+0,502+0,642+0,542+0,502+0,502 + +0,502+0,552 = 2,97.

Результаты вычислений по всем 10 смесям расположим в порядке убывания значений q (ранга): 3; 6; 4; 01; 02; 04; 5; 03; 1; 2.

В табл. 4 приведены итоговые показатели ранжирования резин. Проанализировав и сравнив значения, полученные этими методами и представленные в таблице 4, выделяем вулканизаты, которые более предпочтительны для дальнейшего анализа и возможного продвижения в технологию это: 3; 6; 4; 01.

Таблица 4

Ранжирование вулканизатов с использованием интегральных показателей

Интегральный показатель		Обозначение вулканизата по табл. 1									
		01	02	03	04	1	2	3	4	5	6
Табл. 1	Ранг (ν_i)	0,79	0,78	0,74	0,76	0,74	0,73	0,83	0,78	0,72	0,82
	q	2,97	2,94	2,57	2,93	2,20	1,97	4,96	4,37	2,78	4,57
Интегральный показатель		Марка смеси по табл. 2									
		К-69		К-69 Т		К-1520		К-673		Силикон 300/60Б	
Табл. 2	q	1,99		2,36		1,75		0,87		2,34	
	НМ	0,95		0,97		0,91		0,95		0,97	

Следует отметить, что оба метода дают приблизительно одинаковые результаты ранжирования, а различия следует списать на некоторые особенности и допущения используемых методик. Так в случае использования нечетких множеств, можно придать параметрам ПКМ соответствующий вес (например, на основе экспертных оценок, тенденций технологического рынка, маркетинга и т. д.) и провести расчеты с учетом наиболее важных по мнению экспертов показателей, тогда ранжирование ПКМ может несколько сместиться. В другом случае следует учесть, что каждый из параметров Qj должен соответствовать принятому стандарту или заданному значению. Для более корректного принятия решения с использованием ранговых оценок лучше пользоваться сразу несколькими методами, с одновременным учетов мнений специалистов.

Для подтверждения сказанного в таблице 4 приводим также результаты ранжирования кабельных резин (таблица 2).

Здесь следует обратить внимание на следующие марки смесей: К-69Т; Силикон 300/60Б; К-69.

Мы считаем, что предлагаемые методики открывают новые возможности обработки эмпирических данных и позволяют решать некоторые задачи планирования научно-технологического эксперимента и принятия решений при выборе перспективных (с заданными свойствами) ПКМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Химия и технология полимерных пленочных материалов и искусственной кожи. Ч. 2 / Под ред. Г. П. Андриановой. М.: Легпромбытиздат. – 1991. – 384 с.

2. Демиденко, Е. З. Линейная и нелинейная регрессия / Е. З. Демиденко. – М.: Финансы и статистика. – 2001. – 290 с.

3. *Шабалина, С. Г.* Прогнозирование свойств полимерсодержащих теплоаккумулирующих материалов / С. Г. Шабалина, В. Н. Данилин / Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 2(50) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Химия и технология элементорганических мономеров и полимерных материалов» ; вып. 6). – С. 108–113.

4. Влияние модификации технического углерода на свойства резин Корнев Ю. В.[и др.]. – Каучук и резина.– 2008. – № 1. – С. 14–20.

5. Силиконовые кабельные резиновые смеси, выпускаемые ОАО «Казанский завод синтетического каучука» / Михайлова Г. А., Бабурина В. А., Калмыкова В. Я., Борисоглебский С. В. // Каучук и резина. 2008.–№ 1.– С. 5–9.

6. *Гермашев, И. В*. Решение задач в химической технологии средствами нечетких множеств / И. В. Гермашев, В. Е. Дербишер, - Волгоград: Изд-во ВГПУ «Перемена».- 2008.- 143 с.

7. *Гермашев, И. В*. Свойства унимодальных функций принадлежности в операциях с нечеткими множествами / Гермашев И.В., Дербишер В.Е. // Изв. вузов. Математика. – 2007. – №3. – С. 77–80.

8. *Гермашев, И. В*. Оценка качества технического объекта в условиях неопределенности / И. В. Гермашев // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008612198. – 2008.

9. *Коляганова, О. В.* Методика обработки данных для комплексной оценки качества товарной продукции / Коляганова О.В., Гермашев И.В., Дербишер В.Е. // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-23 : сб. тр. XXIII междунар. науч. конф. В 12 т. Т. 11 (секции 12, 13) / Саратов. гос. техн. ун–т [и др.]. – Саратов.– 2010. - С. 185-187.

УДК 658.5 : 658.58 : 65.011.4

А. В. Кизим

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

kizim@mail.ru

В статье проанализированы основные элементы комплексного методологического подхода к решению задач организации программной, информационной и методической поддержки технического обслуживания и ремонта производственного оборудования. Описаны основные задачи организации ТОиР оборудования и способы их решения, элементы свода знаний организации ТОиР.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт; ТОиР; оборудование; основные производственные фонды; методики ТОиР; методология ТОиР; программная, информационная и методическая поддержка; системный подход; эффективность; показатели эффективности; ключевые показатели эффективности; затраты на жизненный цикл оборудования; интеллектуальные агенты; базы знаний; онтологии.

A. V. Kizim

COMPLEX METHODOLOGICAL APPROACH TO SOLVING TASKS OF EQUIPMENT MAINTENANCE AND REPAIR SUPPORT

Volgograd State Technical University

In this paper main elements of complex methodological approach to solving of program, informational and methodical equipment maintenance and repair organization (MRO) support tasks were analyzed.

Main MRO tasks and it`s solving manners and also elements of maintenance and repair body of knowledge (M&R BOK) were described.

Keywords: Repair and maintenance; Repair and maintenance organization (MRO); facility; assets; MRO methodic; program, informational and methodical support; system approach; efficiency; key performance indicators (KPI); equipment life cycle cost; intelligence agents; knowledge bases; ontology.

Введение

Производительность любого предприятия напрямую зависит от работоспособности его оборудования. Бесперебойное функционирование оборудования обеспечивают механические службы предприятия или специализированные контрактные сервисные организации. Работоспособность оборудования обеспечивается за счет качественного, своевременного и безопасного проведения технического обслуживания и ремонта оборудования (ТОиР) при рациональном использовании ресурсов.

Для эффективного ведения процессов ТОиР может быть использован набор видов обеспечения: методическое, математическое, программное, информационное, организационное, технологическое и прочие [1]. Для автоматизации процессов ТОиР используют специализированные программно-информационные системы классов ERP (Enterprise Resource Planning), EAM-системы (Enterprise Asset Management) или CMMS (Computerized Maintenance Management System), в зависимости от масштаба задач.

К сожалению, ни одна программная система поддержки ТОиР не обладает на 100% всеми возможностями, которые необходимы конечному пользователю. Современная конкурентная среда обладает изменчивостью. Для конкурентоспособности предприятие должно постоянно искать способы снижения издержек и повышения производительности. Одним из таких средств является рациональная организация ТОиР.

В данной работе показаны основные элементы организации эффективного ТОиР оборудования предприятий на основе системного подхода, полученные на основании многолетнего опыта разработки и внедрения программных систем поддержки ТОиР. Совмещение научной, преподавательской деятельности и деятельности по руководству коллективом разработчиков программного обеспечения для ТОиР позволило получить предложения по организации программно-информационной и методической поддержки ТОиР [1, 2], которые названы “Свод знаний ТОиР” Body of Knowledge (M&R BOK).

Пути повышения эффективности тоир

В любой области исследований применение системного подхода дает более сильный эффект, нежели частные решения. При этом достигаются более эффективные решения задач, достигается синергетический эффект [2]. С позиций методов системного анализа разработан набор инструментов для организации всесторонней поддержки эксплуатации и ТОиР оборудования.

В области научной поддержки организации работ по ТОиР можно выделить следующие основные проблемы организации эффективного проведения ТОиР: использование рациональных стратегий ТОиР, минимизирующих производственные потери и эксплуатационные затраты на всем жизненном цикле оборудования; оптимизация ресурсов для проведения ТОиР; эффективное управление службами ТОиР предприятия, а также автономным ремонтно-сервисным предприятием, повышающие их рентабельность и КЭИО (задачи управления ремонтным предприятием или подразделением, организации работ, оценки и повышения эффективности работы служб ТОиР, контроля работ, составления производственной программы); определение превентивных воздействий, предотвращающих появление отказов и повышающих надежность оборудования (выбор вида и порядка осуществления ТОиР: задачи поддержки принятия решений, планирования; определение момента проведения работ по ТОиР: мониторинг состояния оборудования и прогнозирование его отказов). Многие из выделенных задач имеют решение, применимое при поддержке служб ТОиР, но не все из них решены в полной мере, и для повышения конкурентоспособности предприятий необходимо уделить им особое внимание.

Согласно [3], путем применения научно обоснованной организации ТОиР возможно достижение таких эффектов, как: сокращение числа отказов, времени простоя оборудования, затрат на эксплуатацию; увеличение срока службы, надежности и производительности оборудования.

В начале проекта автоматизации ТОиР необходимо провести выделение субъектов, влияющих на эффективность ТОиР, а затем – провести их интервьюирование, чтобы выявить проблемы, которые их волнуют и лучше понять существующее положение дел. Правильное понимание потребности клиента всегда дает гораздо более существенный результат, чем при отсутствии обратной связи. Для получения существующего положения дел необходимо провести исследование состояния применяемого на предприятии комплекса организационных, технических, технологических, социальных и прочих механизмов ТОиР. При этом формализацию процесса ТОиР можно проводить с помощью функциональных и бизнес моделей, например IDEF “as-is” [4], BPML и etc. При этом производится формализация состава и связей, элементов процессов, декомпозиция функциональных блоков, выявление входных и выходных информационных, вещественных энергетических потоков, а также состав влияющих на процесс субъектов, методических и организационных правил. Полученная информация сводится в единую информационную модель процесса ТОиР.

Далее производится анализ полученной модели процесса с целью выявления слабых мест и перспектив повышения эффективности процесса ТОиР. Производится постановка задачи улучшений, одна часть из которых являются ограниченными по времени с помощью сроков, а другая – постоянными. Задачи должны быть зафиксированы. Один из способов описания постановки задач – использование механизма целей [5].

В дальнейшем определяются подходящие инструменты достижения поставленных целей, а также способы контроля, измерения и оценивания показателей их достижения. В качестве инструментов могут применяться как локальные алгоритмы и методы решения таких задач, как: оптимизация отдельных показателей, поддержка принятия управленческих решений (для повышения степени адекватности принятия решений), повышение надежности отдельного узла или агрегата; - так и комплексные методы и подходы организации поддержки ТОиР.

Также в большинстве случаев заказчики ставят оптимизационную задачу сокращения издержек на организацию и проведение ТОиР при одновременном повышении степени отдачи и эффективности эксплуатации оборудования.

Использование целей и показателей для повышения эффективности процесса тоир

Для выстраивания системного подхода при организации ТОиР необходимо сформулировать иерархию целей, которые необходимы для достижения глобальной цели – повышение конкурентоспособности предприятия. Необходимо иметь возможность мониторинга и анализа эффективности ТОиР с помощью показателей эффективности работы. Для понимания текущего уровня эффективности ТОиР, а также степени достижения поставленных целей и направления дальнейшего их развития и совершенствования, необходимо применять специальные метрики, например ключевые показатели эффективности, которые объединяются в сбалансированные системы показателей [6]. На основании иерархии целей строится система ключевых показателей эффективности (КПЭ или KPI) отражающих текущее положение и уровень достижения сформулированных целей.

Источником данных для построения KPI является понимание уровня эффективности работ по ТОиР оборудования на предприятии, что требует проведения анализа оценок эффективности работ. Оценка эффективности (ОЭ) работ выражается как в количественных (например, часов непрерывной работы, или up-time), так и в качественных показателях (например, % выполнения плана). Если компания применяет практику постоянного совершенствования ТОиР, необходимо определять не только ОЭ самих работ ТОиР, но и методов их оптимизации, которая выражается в относительных показателях (например, насколько быстрее стали поводиться ремонтные работы, насколько увеличилось время up-time). Затем ОЭ выражаются в ключевых показателях эффективности KPI.

Развивая теоретико-множественную модель из [7], КПЭ можно описать как:

$$P=<N,A,Tp,U,P,B,GV,Tr,F,G>,$$

де N –наименование показателя, A - область применения (объект, субъект или процесс ТОиР); Tp – тип показателя: T={Количественный, качественный(лингвистический)}, U – единица измерения значений показателя, P – периодичность (частота измерений (мониторинга) значений показателя во времени) P={Нет; День; Неделя; Месяц; Квартал; Полугодие; Год}, B – предельные значения, GV – (Goal Value) целевое значение показателя; Tr-тренд (максимизация, минимизация, постоянство); F – (formula) выражение, содержащее имена показателей, числовые значения, операции; G – (Goal) ассоциированные цели, степень достижения которых измеряет показатель.

Для расчета значений KPI требуются данные о происходящих событиях, связанных с характеристиками процесса ТОиР и состояния оборудования на предприятии, что требует применения организации автоматизированного процесса сбора и накопления таких данных (как параметров функционирования оборудования, так и показателей работы ремонтных служб). Необходимо организовать сбор информации на каждом этапе проведения работ по ТОиР, а так же применять особые требования к форме и содержанию данных, собранных в рамках работ ТОиР.

При организации мониторинга и сбора данных могут быть применены многоагентные технологии с использованием интеллектуальных программных агентов, например с логикой “belief–desire–intention” (BDI) [9, 10], а также архитектуры построения многоагентных систем, например Real-Time Agent Architecture (ARTS) [11].

Формализация модели агента на основе данного подхода подразумевает использование структуры Крипке, адаптированной к задаче моделирования поведения интеллектуального агента [8]:

$$M = (W, \eta, \mu, \Gamma, B, D, I),$$

где: W – множество возможных миров убеждений W^B, предпочтений W^D и намерений W^I, т.е. $W = W^B \cup W^D \cup W^I$, $W : (\{S_w : w \in W\}, \{R_w : w \in W\})$;

η – функция назначения, ставящая в соответствие каждому состоянию s из мира w набор высказываний (формулу состояния) из множества Φ которые истинны в данном состоянии, т.е. $\eta(w, s) \to \Phi'$, $w \in W$, $s \in S_w$, $\Phi' \subseteq \Phi$; μ – функция назначения, ставящая в соответствие каждому отношению достижимости r, определенному в мире w, некоторое действие, т.е. $\mu(w, r) \to \xi$, $w \in W$, $r \in R_w$, $\xi \in \Xi$; Γ – система целей агента, представленная совокупностью целевых функций $\gamma(s) \in \Gamma$, определяющих приоритеты достижения агентов заданных состояний; B, D, I – отношения на множествах миров и состояний (в рамках представления убеждений агента получим $B \subseteq W^B \times S \times W^B$). Организация совместного взаимодействия сети агентов обслуживания описана в [12 и 13].

Для обработки и систематизации полученных данных используются ряд методик, входящих в состав общего подхода к обработке данных – Data Mining, таких как: препроцессинг первичных данных, обнаружение аномальных данных; использование ассоциативных правил; классификация; кластерный анализ; деревья решений; факторный анализ; регрессионный анализ; анализ структурных данных; анализ последовательностей.

При использовании системного подхода к задаче увеличения эффективности ТОиР необходимо организовать непрерывный процесс оценки эффективности ТОиР и адаптивное внесение изменений в процесс ТОиР для получения оптимального значения эффективности функционирования ремонтной службы *Ем* и КПЭО. Согласно [14], в качестве критерия эффективности работы ремонтных служб может быть взята сумма $Ем = См + Lp$, где *См* – затраты, необходимые для выполнения ремонтных воздействий; *Lp* - производственные потери. Известно такое противоречие, что низкие затраты на ремонт и ТО приводят к значительным потерям производства и значительной общей сумме расходов. С другой стороны, высокие затраты снижают рентабельность. В работе [14] утверждается, что оптимум соответствует случаю, когда сумма потерь прибавочной стоимости и затрат на ремонты имеет минимальное значение.

Основные стадии итеративной организации системы ТОиР на основе KPI следующие [2, 7]: 1) Разработка или усовершенствование системы KPI. 2) Проведение работ ТОиР оборудования. 3) Сбор данных и расчет показателей KPI. 4) Проведение оптимизации работ системы ТОиР оборудования. При этом при возникновении отказа оборудования необходимо проводить следующий алгоритм действий по его предотвращению впредь: 1) Идентификация проблем, приводящих к возникновению отказа. 2) Анализ проблемы с целью выявления ее причин, типов отказов, возникающих от отказов эффектов, частоты, серьезности и типа отказов. 3) Поиск подходящих системных решений (выбор и адаптация известных методов решений или разработка новых). 4) Применение новых решений с измерением их эффективности и сопоставлением со старыми методами. Для этого могут применяться такие методы предотвращения отказов оборудования, как методы корневой анализ причин отказов (RCA), анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA) и др.

Комплексное повышение эффективности процесса ТОиР

Повышение эффективности организации исполнения ТОиР возможно за счет применения современных передовых методологий ТОиР и их комбинаций. В процессе совершенствования подходов к проведению ТОиР от реактивного ремонта (аварийные ремонты) оборудования по факту его отказов исторически был осуществлен переход к предупредительному обслуживанию PrM (Preventive maintenance) [2, 15], которое можно разделить на следующие основные виды: плановое обслуживание PlM (Planned maintenance), примером методической организации которого являются подробные советские методики системы ТОиР, подробно описывавшие регламент ТОиР почти всех видов промышленного оборудования; обслуживание по состоянию CBM (Condition-based maintenance); предупредительное обслуживание на основе прогнозных данных PdM (Predictive maintenance).

Каждый из указанных подходов имеет свои достоинства и недостатки, и должен применяться согласно его условиям применения. В процессе поиска подходов к минимизации затрат на ТОиР, подход, заключающейся в уменьшении или расширении во времени PlM, показал себя не с лучшей стороны. Выросшее количество аварийных работ либо приводило уровень затрат к прежнему уровню, либо повышало его. Это связано с наличием зависимости между затратами на ТОиР и надежностью оборудования, которая является нелинейной.

Для более эффективного управления ТОиР необходимо применять разные подходы организации ТОиР к разным группам оборудованиям. Для сегментирования фонда оборудования по группам, в соответствии с применяемым к его ТОиР подходом, можно выделить ряд критериев оценки эксплуатационных свойств оборудования. Например, критичность оборудования (важностью его постоянной работы), стоимость ремонта, сроки ТОиР и др. При этом могут использоваться матрицы рисков.

В промышленности широко используется показатели эффективности работы оборудования OEE (Overall equipment effectiveness) и TEEP (total effective equipment performance) [16], которые являются ключевыми показателями эффективности (КПЭ) работы оборудования и отражают общее использование оборудования, время и материал производственных операций. Они показывают разницу между идеальной и фактической производительностью. TEEP измеряет OEE в календарных часах. Хорошим достижением для предприятия считается уровень эффективности оборудования OEE порядка 80-90%.

В силу того, что коэффициент готовности оборудования зависит от надежности его работы, в первую очередь необходимо решать вопросы обеспечения надежности технических систем, которым посвящено большое направление научных работ. Нас интересует организационно-методический аспект данной проблемы, решению которого посвящены технологии ТОиР "Обслуживание, ориентированное на надежность" (RCM). Данный аппарат [17] основан на комбинировании методов управления рисками, мониторинга и контроля параметров функционирования оборудования. Возможности его применения в средствах поддержки ТОиР обусловлены применением методов организации и накопления знаний, а также процедур их использования (логического вывода). В качестве машин логического вывода могут применяться механизмы рассуждения по прецедентам (CBR) на онтологиях.

Немаловажным параметром эффективности также является стоимость затрат на оборудование, которая складывается из общих совокупных затрат на протяжении жизненного цикла оборудования [18]. В общем виде затраты на ЖЦ оборудования *LCC* составляют:

$$LCC = Cic + Cin + Ce + Co + Cm + Cs + Cenv + Cd,$$

где *Cic* – первоначальная стоимость покупки, *Cin* – стоимость установки, обучения и ввода в эксплуатацию, *Ce* – затраты энергии, *Co* – стоимость нормальной эксплуатации, *Cm* – стоимость ТОиР, *Cs* – стоимость простоев (недовыпуска продукции), *Cenv* – стоимость расходных материалов, необходимых для нормального функционирования оборудования, *Cd* – стоимость вывода из эксплуатации и утилизации оборудования и материалов. Соответственно, изменение стоимости любой фазы ЖЦ оборудования или элемента структуры затрат на его ЖЦ влечет за собой изменение совокупной стоимости *LLC*. Для повышения эффективности использования оборудования достаточным условием является снижение стоимости любой из компонент *LCC*. Более сильным решением является комплексный подход к одновременному снижению различных групп затрат, влияющих на величину *LCC*. Для его осуществления необходимо применение совокупности средств методической и программно-информационной поддержки в совокупности с математическими методами и алгоритмами. Нами выделен обобщенный состав задач и методов поддержки ТОиР применительно к задачам обеспечения эффективной работы оборудования, описание которого выходит за рамки данной работы. Важным параметром эффективности ТОиР основных фондов также является параметр "степень возврата инвестиций".

Критерием эффективности ТОиР согласно [2, 14] является минимизация затрат *Cm* на ремонт *CR* и техническое обслуживание *CM* в совокупности с минимизацией производственных потерь *Lp* из-за неудовлетворительного технического состояния оборудования, а также обеспечение своевременной поставки необходимых ресурсов: запасных частей для ремонта оборудования; ремонтных специалистов, выполняющих ремонтные воздействия; финансовых средств на оплату запасных частей и ремонтных бригад; интервала времени, в течение которого оборудование простаивает.

Согласно [4], решаемую задачу в общем виде можно описать в виде модели $<A, K, X, O>$, где A – множество вариантов решений; K – критерии; X – множество оценок, O – набор предпочтений ЛПР. При этом набор критериев $K = <CR, CO, P>$, а целевую функцию можно записать в виде: $\{min\{f(CR + CO)\}, min\{f(P)\}$.

Типовыми задачами также являются задачи определения порядка работ, составления расписаний.

Решение большинства задач вполне может производиться известными методами линейного программирования [19]. Для определения очередности выбора возможно использование ряда методов: RCM [17] и RCM2, матрицы и векторы предпочтений; неметрические методы [20], например Парето[21], поддержки принятия решений в условиях неполной информации с помощью нечетких переменных fuzzy logic и др.

Модели организации ТОиР могут быть представлены с помощью моделей систем массового обслуживания: методов цепей Маркова, сетей Петри, многоагентных систем. В рамках проекта, поддержанного РФФИ (№13-01-0079813\13) созданы модели-прототипы, позволяющие определять характеристики и перспективы использования для имитационного моделирования, позволяющего определять эффективность тех или иных стратегий ТОиР.

Применение технологий накопления и использования знаний для повышения эффективности ПРОЦЕССА ТОиР

Особое внимание в исследовании и рационализации процесса ТОиР уделяется изучению применяемых в организации правил и стратегий обслуживания и ремонта оборудования. Они могут быть в разной степени формализованы с помощью корпоративных стандартов и методического обеспечения.

Важным вопросом организации поддержки является сбор и аккумуляция знаний в едином информационном хранилище – базе знаний. Организация знаний для поддержки ТОиР может быть осуществлена различными способами, каждый из которых имеет определенные преимущества и недостатки. Для задач ТОиР, помимо информации об обслуживаемых объектах основных фондов, территориальном, организационном делении, субъектах процесса ТОиР, имеют место различные информационные классификаторы, правила, регламентирующие осуществление обслуживания и ремонта с точек зрения временных, ресурсных атрибутов и их ограничений в зависимости от вида ТО или ремонта. Также имеет огромную ценность историческая информация о произошедших отказах определенного оборудования и выполненных над ним ремонтных воздействиях. Все вместе они образуют метаданные или знания. Накопленные прецеденты могут быть проанализированы и классифицированы для последующего использования в виде решающих правил. Таким образом удобно использовать статистические данные об отказах оборудования определенного класса.

Представление знаний помимо классических реляционных информационных моделей, может быть в виде карт знаний, фреймов-прототипов, прецедентов. Более структурированным и приспособленным для использования в ТОиР представлением знаний о процессе ТОиР и его компонентах является механизм онтологий [22]. Получение результатов логического вывода осуществляется с помощью механизма рассуждения по прецедентам (CBR).

Для практического применения важна гибкая настройка информационных систем на применяемые методологии ТОиР. Например, в качестве основы берется использование ППР - PlM для оборудования, которое находится на гарантии и регламентировано государственным надзором. На этой основе добавляется управление рисками, использование системы предпочтений пользователей, методов поддержки принятия решений в условиях неполноты информации.

Заключение

В работе описаны краткие результаты, полученные в процессе организации программно-информационной и методической поддержки ТОиР, которые составляют ТОиР Body of Knowledge (M&R BOK), начиная от постановки задачи [23] и заканчивая отдельными положениями M&R BOK, реализованными в программно-информационной системе АСТОР [24, 25], применяющейся как ремонтными службами промышленных предприятий, так и специализированными ремонтными организациями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кизим, А. В.* О методологических аспектах решения задач программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта / А.В. Кизим, С.В. Шевченко // Вісник національного технічного університету "ХПІ" : зб. наук. праць. Тем. випуск "Системний аналіз, управління та інформаційні технології". – 2011. – № 35. – С. 56–61.

2. *Кизим А.В.* Повышение производительности эксплуатации оборудования с использованием системного подхода / А.В. Кизим, Е.В. Чиков, В.А. Камаев, С.В. Шевченко // Вісник національного технічного університету "ХПІ" : зб. наук. праць. Тем. випуск "Системний аналіз, управління та інформаційні технології". – 2012. – № 30. – С. 40–46.

3. Lawson insight. EAM-Focused ERP, Lawson. – 2006.

4. *Кизим, А.В.* Постановка и решение задач автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию

оборудования / А.В. Кизим // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (Доклады ТУСУРа). – 2009. – № 2 (декабрь). – С. 131–135.

5. *Кизим, А.В.* Программно-информационная поддержка технического обслуживания и ремонта оборудования с учетом интересов субъектов процесса / А.В. Кизим, Е.В. Чиков, В.Ю. Мельник, В.А. Камаев // Информатизация и связь. – 2011. – № 3. – С. 57–59.

6. *Kaplan R. S., Norton D. P.* The Balanced Scorecard: measures that drive performance, Harvard Business Review, Jan – Feb, pp. 71–80. -1992

7. *Кизим, А.В.* Повышение эффективности процессов эксплуатации оборудования путем использования системы ключевых показателей ремонтных служб / А.В. Кизим, Е.В. Чиков // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе IT+SE`2012 : приложение к журналу "Открытое образование" : матер. XXXX юбил. межд. конф. X межд. конф. молодых ученых (майская сессия, Крым, Ялта-Гурзуф, 25 мая – 4 июня 2012 г.) / ИПУ РАН, ГУ-ВШЭ, МГУПИ [и др.]. – [М.], 2012. – С. 163–166.

8. *Камаев, В.А.* Разработка и применение модели автоматизированной системы управления информационными процессами к задаче мониторинга состояния оборудования/ В.А. Камаев, В. В. Лежебоков //Вестник компьютерных и информационных технологий, 2009. – №9. – С. 18–22.

9. Rao A. S., Georgeff M. P. BDI-agents: From Theory to Practice, Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems (ICMAS'95), San Francisco. – 1995.

10. *Monostori, L., Vancza, J., and Kumara, S. R. T.* Agent-based systems for manufacturing, Annals of the CIRP, 55, pp. 697–720. –2006.

11. *Vikhorev K. S., Alechina N., and Logan B.* The ARTS Real-Time Agent Architecture. Proceedings of Second Workshop on Languages, Methodologies and Development Tools for Multi-agent Systems (LADS2009). CEUR Workshop Proceedings, Vol-494, Turin, Italy.- 2009.

12. *Kaminka G. A., Yakir A., Erusalimchik D., and Cohen-Nov N.* Towards Collaborative Task and Team Maintenance. Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS-07). -2007.

13. *McArthur, S.D.J., V.M. Catterson.* Multi-agent systems for condition monitoring. Power Engineering Society General Meeting, 2005. IEEE June 12-16, pp 1499 – 1502. – 2005.

14. *Levitt J.* Handbook of Maintenance Management, Industrial Press.-1997.

15. *Кизим, А.В.* Организация программно-информационной поддержки методологий технического обслуживания и ремонта / А.В. Кизим // Сборник научных трудов SWorld : матер. междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2012». – 2012. – Вып. 4, т. 12. – С. 86–88.

16. *Hansen R.C.* Overall Equipment Effectiveness (OEE). Industrial Press. -2005.

17. *Moubray, J.* Reliability Centered Maintenance, 2nd Edition.- 1997.

18. *Кизим, А.В.* Задачи и методы поддержки ТОиР оборудования на протяжении его жизненного цикла / А.В. Кизим // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 4 (91) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 13). – С. 55–59.

19. *Kantorovich L. V.* Selected Works. Part 2: Applied Functional Analysis. Approximation Methods and Computers», Gordon and Breach Publishers. – 1996.

20. *Мельник, В.Ю.* Поддержка принятия решения при формировании очередей работ с помощью средств автоматизации планирования технического обслуживания и ремонта оборудования / В.Ю. Мельник, А.В. Кизим, В.А. Камаев // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 11 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 12). – С. 107–110.

21. *Мельник, В. Ю.* Применение неметрического метода Парето для задачи планирования технического обслуживания и ремонта / В.Ю. Мельник, В.А. Камаев, А.В. Кизим // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 11 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 12). – С. 103–106.

22. *Campos J.* An ontology for asset management. IFAC Conference on Cost Effective Automation in Networked.- 2007.

23. *Кизим, А. В.* Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. на-уч. ст. № 6 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в техн. системах» ; вып. 6). – С. 118–121.

24. *Кизим, А.В.* Создание системы программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта АСТОР / А.В. Кизим // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях : сб. матер. 12 междунар. промышл. конф. (п. Плавья, Карпаты, 13-17 февр. 2012 г.) / Украинский информ. центр "Наука. Техника. Технология". – Киев, 2012. – С. 11–14.

25. *Кизим, А.В.* Модернизация системы программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта оборудования / А.В. Кизим, Е.В. Чиков // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе (IT+SE`10). Майская сессия (Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, 20-30 мая 2010 г.) : матер. XXXVII междунар. конф. и дискуссионного науч. клуба : прилож. к журн. "Открытое образование" / РАН [и др.]. – Б/м, 2010. – С. 44–46.

УДК 004.89: 656.1/.5

А. В. Кизим, М. В. Денисов

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОНТОЛОГИЙ И МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Волгоградский государственный технический университет

kizim@mail.ru, maxden33@gmail.com

В работе определены проблемы и задачи организации ТОиР на примере дорожно-строительной техники (ДСТ). Предложен подход к обеспечению поддержки принятия решений (ППР) при управлении ТОиР дорожной техники на основе адаптированного и модернизированного метода RCM2. Определена структура системы организации ремонта и технического обслуживания в дорожном хозяйстве с использованием онтологий и мультиагентных систем. Разработаны модель системы планирования ТОиР на основе агентов как многоагентная система, состав и структура интеллектуальных агентов. Для задач планирования ТОиР предложено использовать метод CaseBasedReasoning на онтологии. Описаны результаты разработки и внедрения модулей комплексной программно-организационной системы ТОиР ДСТ.

Ключевые слова: система поддержки, планирование, дорожно-строительная техника, производственное оборудование, техническое обслуживание и ремонт, ТОиР, организация ТОиР, программно-информационная поддержка, онтологии, интеллектуальные агенты, многоагентная система, RCM2, CBR.

A. V. Kizim, M. V. Denisov

ORGANIZATION OF THE SOFTWARE AND INFORMATION SUPPORT FOR MAINTENANCE AND REPAIR OF PRODUCTION EQUIPMENT WITH ONTOLOGY AND MULTI-AGENT SYSTEMS IN A CONSTRUCTION MACHINE CASE

Volgograd State Technical University

This paper presents the problems and tasks of maintenance and repair on the example of road-building equipment. An approach to providing decision support in the management of maintenance and repair of road vehicles based on the adapted and modernized method RCM2 is proposed. The structure of maintenance and repair organization (MRO) in the road sector with the use of ontologies and multi-agent systems is described. The model of the maintenance and repair planning system on the basis of agents as a multi-agent system, and the composition and structure of intelligent agents are showed. The method of Case Based Reasoning on ontologies proposed to use for scheduling maintenance and repair. The results of the development and implementation of integrated software modules and organizational system Maintenance and road-building equipment are described.

Keywords: system support, planning, road construction machinery, industrial equipment, production equipment, maintenance and repair, maintenance and repair organization, MRO, software and information support, ontology, intelligent agents, multi-agent system, RCM2, CBR.

Введение

Дорожное хозяйство имеет большое значение для любой страны, так как дорожная сеть является базой для самого часто используемого из 4 важнейших механизмов транспортировки грузов и людей. Модернизация дорожного хозяйства позволяет перейти к новой системе управления, ориентированной на достижение результатов и повышение эффективности функционирования отрасли. Одной из задач реформирования является совершенствование управленческих технологий, которые включают в себя лучшие современные подходы по организации технического обслуживания и ремонта техники(ТОиР) для обеспечения максимального выполнения дорожными ремонтными машинами производственной программы. У многих автодорожных предприятий парк оборудования обновляется не в достаточной мере, что приводит к его износу и выработке ресурса машин. Самым очевидным решением, на первый взгляд, является обновление оборудования для замены отработавшего. Однако, экономическое обоснование подобных операций не всегда убедительно. Более перспективной задачей для решения является разработка аппарата для организации системы организации, планирования и поддержки принятия решений по обслуживанию и ремонту парка дорожно-строительной техники.

Решение по организации ТОиР

Зачастую при организации работ по ТОиР дорожной техники используется обслуживание по фактическому состоянию. Реже – более про-

грессивное планово-предупредительное ТОиР, при котором ремонтные воздействия производятся через определенные промежутки времени или наработки оборудования.Онотакже не всегда рационально, т.к. влечет дополнительные не всегда обоснованные затраты. Во многих отраслях зарекомендовал себя подход Reliability-Centered Maintenance (RCM), при котором определяется значимость актива, а также последствия его отказов. Корганизации ТОиР автодорожной техники, как и другого оборудования,также возможно применение RCM (рис. 1).

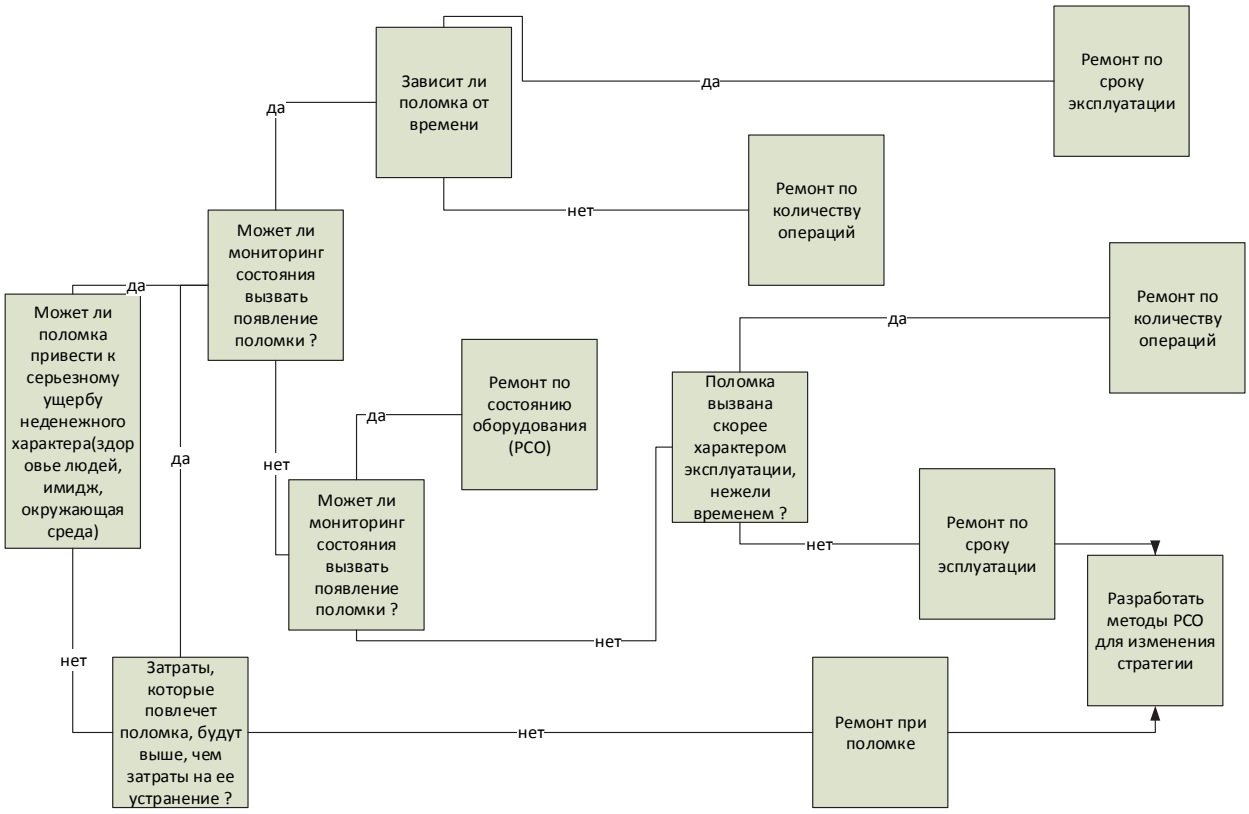


Рис. 1. Логика RCM-подхода

В общем случае затраты на ТОиР равны сумме эксплуатационных издержек и производственных потерь (в том числе от невыполнения обязательств организации перед заказчиками). Данная кривая имеет точку оптимума (см. рис. 2). Смысл данной зависимости в том, что при некоторой величине совокупных затрат достигается оптимальное соотношение затрат и эффекта от ремонтных мероприятий. А дальнейшие вложения способны увеличить эффект, понимаемый, например, как коэффициент технической готовности оборудования.

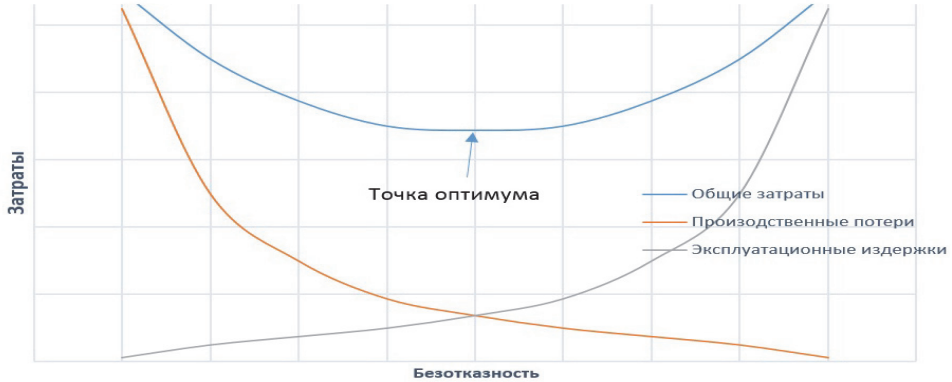


Рис. 2. Зависимость производственных потерь от совокупных затрат на техобслуживание и ремонты

Анализ этой закономерности приводит к выводу, что при управлении техобслуживанием и ремонтами существует возможность разработать оптимальный по критерию затраты/результаты план работ, который является важнейшей предпосылкой успеха всего комплекса ремонтных мероприятий. План является динамически изменяемым. Периодически должна производиться его корректировка.

Для повышения эффективности технологического процесса по обслуживанию дорожной техники необходима его автоматизация, использующая модернизированную стратегию RCM2.

Для этого предложен подход к обеспечению поддержки принятия решений (ППР) при управлении ТОиР дорожной техники. Информационная система поддержки принятия решений (ИСППР) предназначена для выполнения следующих функций: планирование ТОиР дорожной техники, определение приоритета ТОиР дорожных машин, а также составляющих их узлов. С учетом специфики предметной области была построена архитектура системы ППР при ведении дорожных работ (Рис.3). Модулями предложенной ИСППР являются база знаний (онтологии), база данных системы и функциональные модули(мониторинга текущего состояния техники, ППР, и др.). База данных системы и онтология регулярно пополняются. Онтология регулярно пополняется новыми знаниям специалистов, которые поступают в систему управления процессамиТОиР дорожной техники. Эти требования анализируются экспертом с помощью ИСППР на непротиворечивость и вносятся в хранилище знаний в виде новых фрагментов знаний, которые используются для поддержки принятия решений и оценки качества процесса ведения ремонта дорожной техники.

Рис. 3. Схема системы ППР при ведении дорожных работ

Для повышения эффективности принимаемых решений и решения задачи управления знаниями дорожно-строительной организации в части организации процесса ТОиР разрабатывается онтология. Онтология обеспечивает полноту знаний о качестве процесса ведения ремонта дорожных машин, позволяет построить иерархию понятий, формализовать систему суждений экспертов в форме правил принятия решений, и сформировать базу прецедентов проблемных ситуаций в области организации ТОиР и управления качеством процесса ремонта дорожных машин. В онтологии установлены парадигматические отношения между понятиями, независимые от контекста решения задачи, и правила формирования переменных синтагматических отношений понятий, возникающих в некотором контексте решения задачи. Разработка онтологии решает задачу совместного и повторного использования знаний различными пользователями, задействованными в управлении качеством процесса ремонта дорожных машин.

С помощью онтологии определено единое информационное пространство, в котором интегрируются различные модели представления знаний об процесс ремонта дорожных машин управления качеством, знания о конкретной

области подготовки специалистов, правила управления процесс ремонта дорожных машин и прецеденты конкретных проблемных ситуаций, требующих принятия решений. Фрагмент разработанной онтологии, отражающей множество классов процесса ремонта дорожных машин и управления качеством, представлен на рис. 4.

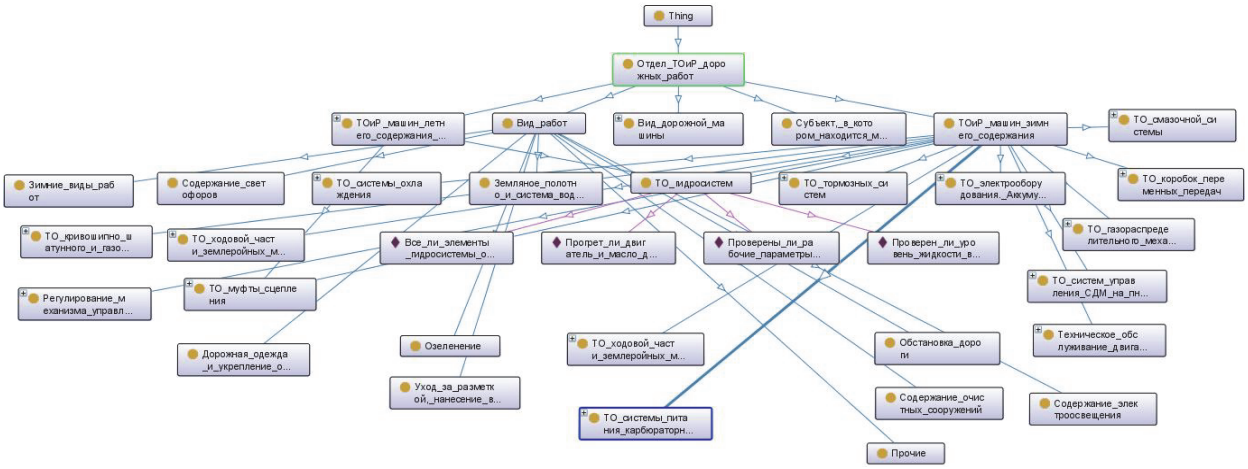


Рис. 4. Фрагмент онтологии управления качеством ведения технического обслуживания и ремонта дорожной техники

Модель многоагентной системы тоирдорожно-строительных машин

Для мониторинга, организации взаимодействия и упрощения процесса управления объектами схожей структуры используются агенты, объединяемые в мультиагентную систему (МАС). Модель МАС, изначально разработанная для представления процессов взаимодействия набора объектов схожей структуры, успешно применяется во множестве научных отраслей [7]. Использование этой модели в сферах робототехники и интеллектуального анализа данных привело к выработке концепта агента, как объекта, наделенного правами пользователя и способного к совершению схожего спектра задач. Таким образом, агент является сложной системой, которая может быть основана на интеллектуальных методах, внутри системы мультиагентного взаимодействия.

По причине разнородности и различного территориального расположения дорожно-строительных машин и оборудования является обоснованным применение агентных технологий для решения задач ТОиР. Агенты обладаютхарактеристиками, которые делают их незаменимыми в задачахТОиР. Способность правильно реагировать на динамически изменяющиеся условия делает многоагентные системы (МАС) гибкими для их использования при обслуживании дорожной техники, так как дорожно-ремонтная машина довольно автономна, и ситуация в ней меняется динамически. Агенты обладают свойствами гибкости, расширяемости и отказоустойчивости. В МАС задачи распределены между агентами, каждый из которых рассматривается как член группы или организации. Распределение задач предполагает назначение ролей каждому из членов группы, определение меры его ответственности и требований к опыту.

При использовании всех методов формирования прогнозов работ по ТОиР оборудования в рамках автоматизированной системы с использованием агентов можно повысить скорость составления и качество планов проведения работ по ТОиР оборудования. В соответствии с этим предлагается следующая модель мультиагентной системы ТОиР.[10]

Распределенное решение задач несколькими агентами разбивается на следующие этапы: 1) агент-менеджер машины проводитанализ отказов внутренних узлов, а также определение приоритета их ремонта; 2) эти задачи распределяются между агентами-исполнителями; 3) каждый агент-исполнитель решает свою задачу, подчас также разделяя ее на подзадачи; 4) для получения общего результата производится композиция, интеграция частных результатов, соответствующих выделенным задачам; 5) агент-менеджер машин используется для определения приоритета ремонта дорожно-строительных машин, на основе шкалы важности, которая получается по методологии RCM.

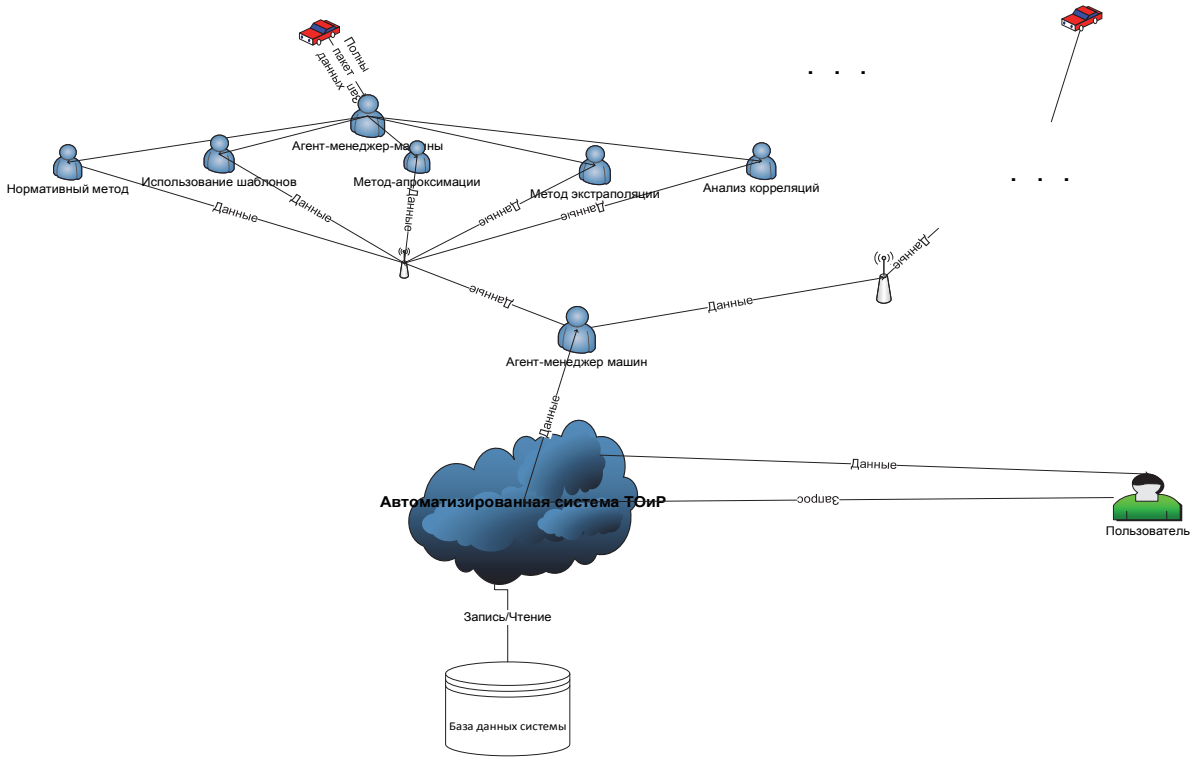


Рис. 5. Архитектура ТОиР дорожной техники на основе мультиагентов

Для организации вывода регулярно повторяющихся задач планирования ТОиР используется метод Case Based Reasoning (CBR) [11]. Если принцип регулярности не выполняется, то очередность обслуживания и ремонта узлов производится на основе предварительных экспертных оценок важности узла, а также правил ТОиР и других знаний об организации процесса ТОиР. После успешного выполнения запланированной операции по ТОиР узла информация заносится в базу знаний и в дальнейшем становится возможным применение для планирования работ над ним метода CBR.

Выводы и результаты

Произведен анализ проблем и постановка задач по организации ТОиРтехники в дорожном хозяйстве. Определены базовые методологии ТОиР для создания системы организации ТОиР в дорожном хозяйстве (обслуживание по фактическому состоянию, планово-предупредительное обслуживание и RCM). В рамках работы предложен подход к обеспечению поддержки принятия решений (ППР) при управлении ТОиР дорожной техники на основе адаптированного и модернизированного метода RCM2. Показано, что затраты на ТОиР равны сумме эксплуатационных издержек и производственных потерь.

Определена структура системы организации ремонта и технического обслуживания в дорожном хозяйстве с использованием онтологий и мультиагентных систем. Показаны решения по применению онтологий для задачи управления знаниями по организации ТОиР. Произведено обоснование применения агентных технологий для решения задач ТОиР. Разработаны состав агентов и модель системы планирования ТОиР на основе агентов как многоагентная система. Построена структура интеллектуальных агентов, соответствующаямодели. Для задач планирования ТОиР используется метод Case Based Reasoning для вывода на онтологии. Внедрение системы идет на базе регионального государственного предприятия по строительству и ремонту дорог. Разработка и внедрение программно-организационной системы производятся поэтапно. На данный момент внедрена с экономическим эффектом система автоматизированного учета дорожных работ предприятия и производится сбор информации о проведенных работах, которая учитывается в прототипе системы ИСППР.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Камаев В.А., Щербаков М.В., Скоробогатченко Д.А.* Применение нечетких нейросетевых моделей для идентификации состояния автомобильных дорог / Вестник ком-

пьютерных и информационных технологий. Вып. 12. М.: “Машиностроение”, 2010. С. 36-41.

2. *Камаев В.А.* Интеллектуальные системы автоматизации управления энергосбережением / В. А. Камаев, М. В. Щербаков, А. Бребельс // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 227–231.

3. *Кизим А.В.* Программно-информационная поддержка технического обслуживания и ремонта оборудования с учетом интересов субъектов процесса/А.В. Кизим, Е.В. Чиков, В.Ю. Мельник,В.А. Камаев // Информатизация и связь. –2011. –№ 3. –С. 57–59.

4. *Кизим А.В., Линев Н.А.* Исследование и разработка методики автоматизации ремонтных работ предприятия // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»: Межвуз. сб. науч. ст. -Волгоград: ВолгГТУ, 2008. –Вып. 4, № 2. –С. 43–45.

5. *Кизим А.В., Чиков Е.В., Мельник В.Ю.* Задачи прогнозирования и планирования для программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта оборудования // Открытое образование. –2011. –№ 2 (85). Ч. 2. –С. 224–227.

6. *Кизим, А. В*. Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в техн. системах». Вып. 6: межвуз. сб. науч. ст./ВолгГТУ. –Волгоград, 2009. –№ 6. –С. 118–121.

7. *Кизим А.В., Кравец А.Д., Кравец А.Г.* Генерация интеллектуальных агентов для задач поддержки технического обслуживания и ремонта/А. В. Кизим // Известия Томского политехнического университета. –2012. – С. 131–134

8. *Мельник В.Ю.* Поддержка принятия решения при формировании очередей работ с помощью средств автоматизации планирования технического обслуживания и ремонта оборудования / В.Ю. Мельник, А.В. Кизим, В.А. Камаев // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 12 :межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 11. – С. 107–110.

9. *Денисов М.В., Кизим А.В.* Поддержка принятия решений при ведении дорожных работ и мониторинге техники /Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. 2012. Т. 14. № 4. С. 56-60.

10. Mangina E.E., S.D.J. McArthur and J.R. McDonald (2001a). "COMMAS (COndition Monitoring Multi Agent System)", Journal of Autonomous Agents and Multi-agent Systems, Vol.4, pp 279 - 281.

11. Sankar K. Pal, Simon C. K. Shiu. *Foundations of Soft Case-Based Reasoning*. NewJersey: Wiley, 2004, ISBN: 978-0-471-64466-8.

УДК 519.876.5, 519.876

М. Б. Кульцова, Н. П. Садовникова, Д. В. Дмитриенко, Н. М. Рашевский

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ВОЛГОГРАДА*

Волгоградский государственный технический университет

siemens2006@yandex.ru, npsn1@yandex.ru,
dmitry.dmitrienko@outlook.com, rashevsky.n@gmail.com

В статье представлены результаты комплексного анализа безопасности транспортной системы г. Волгограда на основе качественного и имитационного моделирования. Разработаны качественная модель и модель системной динамики городской транспортной системы, на основе анализа результатов моделирования проведена оценка комплекса мер повышения безопасности транспортной системы. Полученные результаты могут быть использованы для поддержки принятия решений по управлению городской транспортной системой.

Ключевые слова: системный анализ, системная динамика, качественное моделирование, поддержка принятия решений.

M. B. Kultsova, N. P. Sadovnikova, D. V. Dmitrienko, N. M. Rashevsky

SYSTEM ANALYSIS OF THE TRANSPORT NETWORK SAFETY IN VOLGOGRAD

Volgograd State Technical University

In this paper the results of system analysis of the transport network safety in Volgograd on the base of qualitative and simulation modeling are presented. The qualitative model of transport network safety and model of system dynamics are developed, the safety measures on the base of simulation are suggested. The obtained results could be used for support of decision making in the field of transport network management.

Keywords: system analysis, system dynamics, qualitative modeling, simulation modeling, decision-making support.

Введение

С развитием экономики Волгограда, он превращается в постоянно движущийся город, что влечет за собой ряд проблем в транспортной инфраструктуре. Волгоград располагается вдоль реки Волги и имеет протяженность более 80 км. Эти особенности его расположения накладывают ряд ограничений на возможности развития и поддержания правильного функционирования городской транспортной системы. Ряд проблем в этой области связан с отсутствием хорошей объездной дороги для грузовых

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 13-07-00219.

машин, нерациональным расположением светофоров и постов ДПС, плохим состоянием дорожного полотна.

Комплексные программы повышения эффективности транспортной системы являются очень дорогостоящими, и муниципальные власти должны быть уверены в эффективности их реализации. Поэтому актуальной является проблема организации поддержки принятия решений в области управления развитием городской транспортной системы. Решить эту задачу можно с помощью различных подходов, в данной работе предлагается использовать качественное и системно-динамическое моделирование для комплексного анализа транспортной системы и оценки эффективности мер, направленных на повышение ее безопасности.

Анализ предметной области

На первом этапе был проведен анализ предметной области в соответствии с методологией, предложенной в работе [1]. При управлении городской транспортной системой муниципальные власти должны учитывать интересы множества заинтересованных сторон, преследующих зачастую противоположные цели. Был сформирован список сторон, чьи интересы соприкасаются при использовании транспортной системы, в результате экспертного анализа этого списка были выделены основные аспекты использования транспортной системы и соответствующие им цели, отражающие различные группы интересов, такие как безопасность транспортной системы, воздействие на окружающую среду, социально-экономические цели и др.

В ходе анализа было построено дерево целей, для каждой из подцелей этого дерева выделены наборы атрибутов, описывающих транспортную систему с соответствующей точки зрения. Для атрибутов выделены источники получения информации об их значениях, также выделены возможные значения атрибутов и оценки этих значений в соответствии с целями, к которым атрибуты принадлежат. Фрагмент дерева целей и описание атрибутов подцели «Повышение безопасности транспортной системы» приведен на рис. 1.

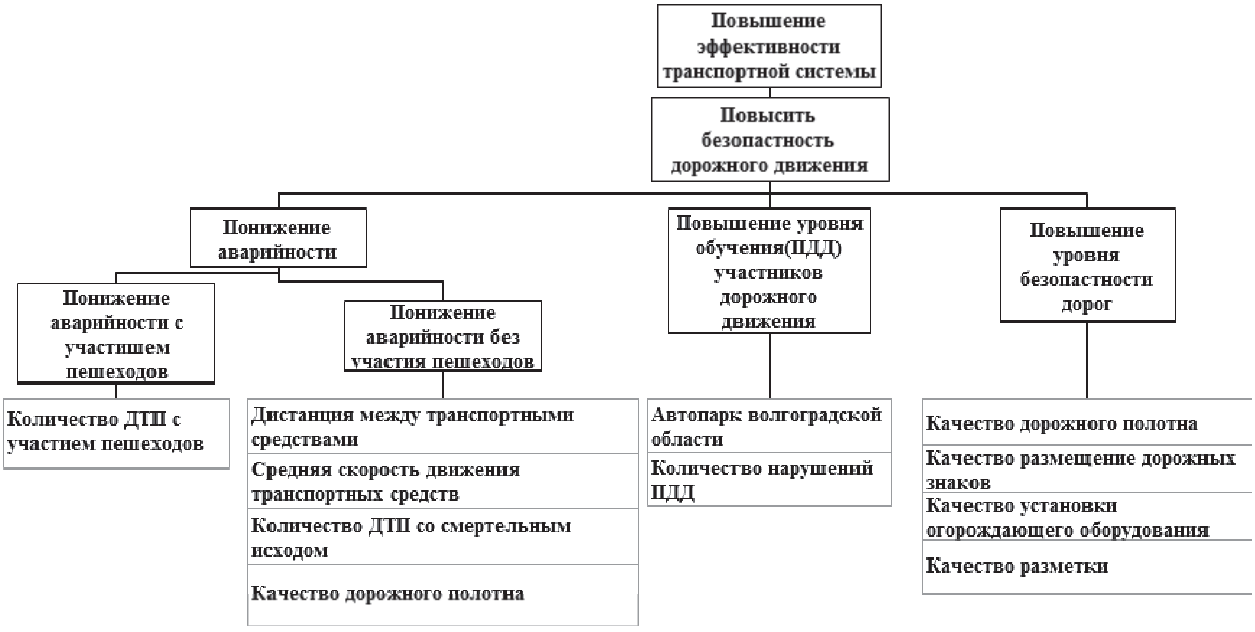


Рис. 1. Фрагмент дерева целей

В результате анализа различных программ развития транспортных систем в России [2, 3] были для различных значений атрибутов выделены альтернативы - действия, которые можно предпринять для улучшения положения, то есть для повышения эффективности транспортной системы, фрагмент описания альтернатив, направленных на повышение безопасности транспортной системы, и их атрибутов представлен на рис. 2.

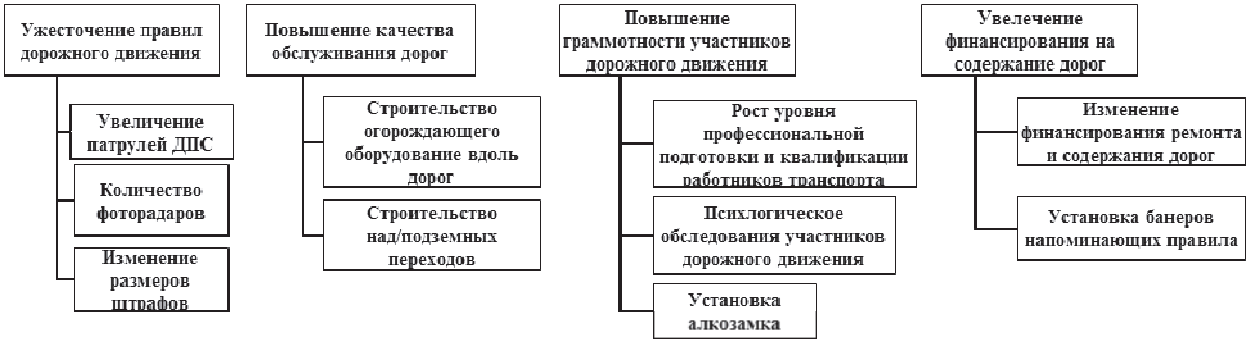


Рис. 2. Фрагмент описания альтернатив, направленных на повышение безопасности транспортной системы

Качественная модель безопасности транспортной системы

Для установления и изучения зависимостей между возможными альтернативами и атрибутами целей в системе качественного моделирования Garp3 [4] была построена качественная модель безопасности транспортной системы QM, которая представляется в следующем виде:

$$QM = \{SSC, CC\},$$

где SSC – множество простых компонент модели; CC – множество составных элементов модели.

$$SSC = \{SC, BC\},$$

где SC – простые структурные компоненты модели; BC– простые компоненты системы, задающие поведение системы.

$$SC = \{EE, SRE\},$$

где EE – иерархия сущностей (на рис. 3 представлена иерархия сущностей модели безопасности транспортной системы, построенная в Garp3), SRE – множество отношений между атрибутами безопасности транспортной системы

$$(SRE = \emptyset, \text{т. к. атрибуты друг на друга воздействий не оказывают}).$$

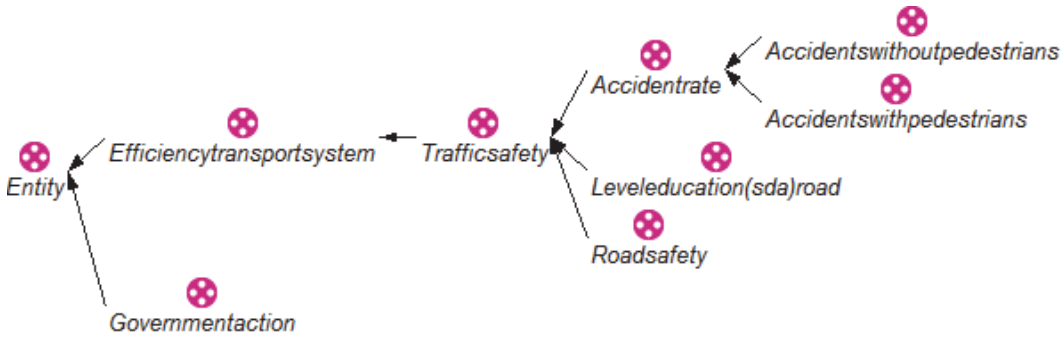


Рис. 3. Иерархия сущностей качественной модели безопасности транспортной системы

$$BC = \{Q, QS, D\},$$

где Q – множество качественных переменных; QS – пространство допустимых значений:

$$QS = \{Hmz, Pz\}$$
$$Hmz = \{High, Middle, Zero\}$$
$$Pz = \{Plus, Zero\}$$
$$Q = \{Accidentsinvolvingpedestrians, Averagespeedoftraffic, Countcars, Countoftrafficviolations, Distance, Fatalcrash, Finance, Fine, Qualityinstallationfencing, Qualityfaccommondationofroadsigns, Qualityofroadmarkings, Qualityofroadway, Value\},$$

D – множество отношений причинно-следственных связей:

$$D = \{I+, I-, P+, P-\},$$

где I+ и I- - положительное и отрицательное влияние значения одной переменной на другую переменную, соответственно; P+ и P- прямая и обратная пропорциональная зависимость ме-

жду значениями двух переменных, соответственно.

$$CC = \{SF, PF, Sc\},$$

где SF – множество статических фрагментов качественной модели, сформированных из элементов SSC (см. рис. 4); PF – множество динамических фрагментов качественной модели, сформированных из элементов SSC(см. рисунок 4); Sc – множество сценариев симуляции качественной модели, сформированных из элементов SSC.

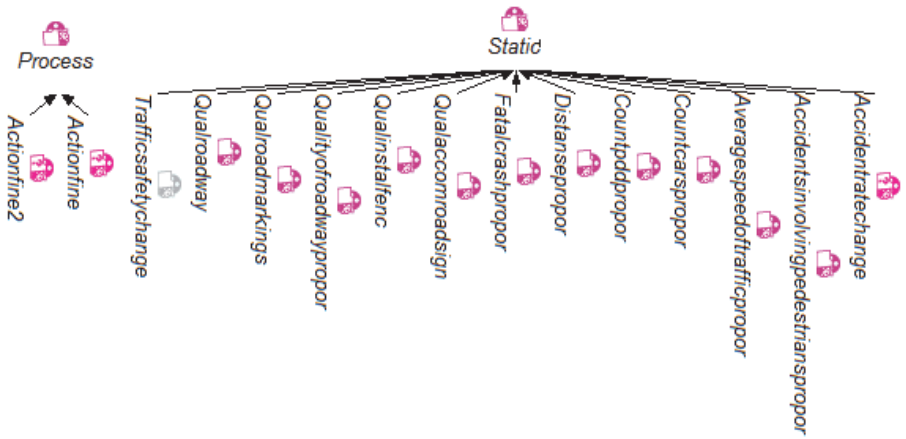


Рис. 4. Иерархия статических и динамических фрагментов модели

На качественной модели были проведены эксперименты, выявляющие влияние на параметры транспортной системы, следующих мер: повышение штрафов за нарушения правил дорожного движения и увеличение финансирования на строительство и ремонт дорог. В частности было получено, что повышение штрафов положительно влияет на уровень обучения водителей правилам дорожного движения, а увеличение финансирования положительно влияет на качество дорог. В обоих экспериментах безопасность и эффективность транспортной системы повысились. На рис. 5 представлено одно из состояний, полученных в результате симуляции.

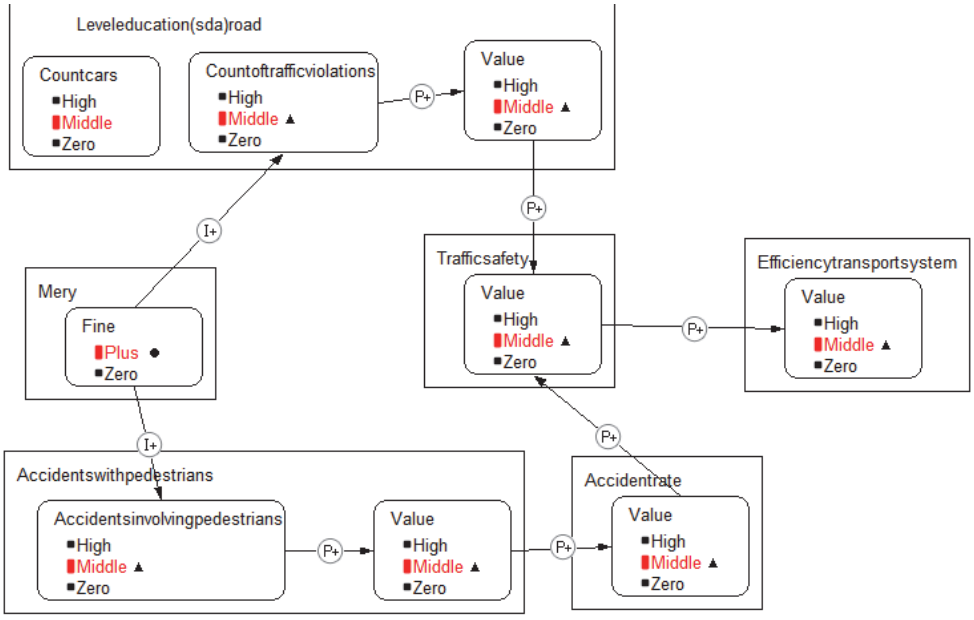


Рис. 5. Результаты симуляции, проведенной на качественной модели

Модель системной динамики транспортной системы

Системно-динамическое моделирование активно применяется при создании программ развития города [5-8]. Данный подход позволяет не только имитировать развитие процессов, протекающих в исследуемой системе, но и выдавать определенные рекомендации по повы-

шению эффективности управления системой. Целью моделирования на данном этапе исследования является приближенный анализ динамики развития транспортной системы города и изучение возможных последствий решений, принимаемых по ее преобразованию, с точки зрения безопасности. Для моделирования использовалась инструментальная среда Vensim 5.0 (Ventana Systems, США) [9].

Для формального описания модели системной динамики введем следующие обозначения. Через t обозначим переменную «время», начальное значение которой равно нулю и за каждый такт увеличивается на достаточно малое положительное приращение dt. Безопасность транспортной системы описывается следующим набором уравнений (фрагмент формальной модели):

$$\mathrm{STS} = \int \left(\frac{((1-Acc)+LD+SHW)}{3} - STS_{t-1} \right) dt,$$

где STS – безопасность дорожного движения, Acc – Аварийность, LD–уровень обучения участников дорожного движения, SHW–безопасность дорог.

$$Acc = \int ((AccPed + AccNPed)/2 - Acc_{t-1}) dt,$$

где AccPed – аварийность с участием пешеходов, AccNPed – аварийность без участия пешеходов.

$$LD = \int \left(IFTHENELSE \left(CountPDD < CountCars * \frac{1.5}{1000}, \frac{CountPDD}{CountCars * \frac{1.5}{1000}}, 0 \right) - LD_{t-1} \right) dt,$$

где CountPDD – нарушения правил дорожного движения (количество зарегистрированных нарушений на территории города за рассматриваемый период), CountCars – автопарк Волгограда (количество активно используемых транспортных средств).

$$SHW = \int \left(\frac{QR+QF+QM+QS}{4} - SHW_{t-1} \right) dt,$$

где QR – качество дорожного полотна, QF–качество ограждающего оборудования, QM–качество дорожной разметки, QS–качество установки дорожных знаков.

На построенной модели был проведен ряд численных экспериментов, позволяющих проанализировать динамику развития процессов в исследуемой системе при изменении параметров, влияющих на показатели безопасности.

В первом эксперименте было произведено моделирование транспортной системы без применения мер по повышению безопасности со следующими исходными данными: срок симуляции 30 лет; период один год; улучшающие воздействия отсутствуют; количество автомобилей каждый год увеличивается [10,11]. В результате значения всех параметров, в том числе и безопасности транспортной системы, постепенно уменьшались.

Во втором эксперименте при моделировании учитывались меры, направленные на повышение безопасности транспортной системы города [12,13]: с первого по пятый год увеличивалось количество патрулей по 30 в год; с десятого по двадцатый годы увеличивалось финансирование на развитие транспортной системы по 400 млн. руб. в год; с первого по пятый год предполагалось строительство 30 над/подземных пешеходных переходов в год; с третьего по восьмой годы предполагалась установка баннеров, знаков и плакатов, напоминающих водителям правила дорожного движения по 400 шт. в год; с двадцатого по тридцатый годы каждый год увеличивались штрафы на 15% в год. Результаты моделирования представлены на рис. 6. По результатам второго эксперимента (см. рис. 6) можно сказать, что кривая безопасности дорожного движения изменяется значительно. С первого по пятый год положительно сказываются такие меры, как строительство переходов и увеличение патрулей ДПС, что в сумме повышает безопасность дорожного движения на 10 %.

С пятого по десятый год наибольшее влияние имеет такой фактор, как установка баннеров, знаков и плакатов, напоминающих ПДД, это положительно влияет на уровень обучения участников дорожного движения, но из-за этого ухудшается безопасность дорог, так как ухудшается качество разметки и общий показатель безопасности дорожного движения падает. При таких показателях данная мера не улучшает безопасность, следовательно, тратить на нее средства не имеет смысла, так как в результате главная цель не достигается. С десятого по двадцатый годы действует только фактор финансирования. Он сильно улучшает безопасность дорог, так как выделенные средства в основном идут на строительство и ремонт дорог, при этом остальные факторы меняются незначительно.

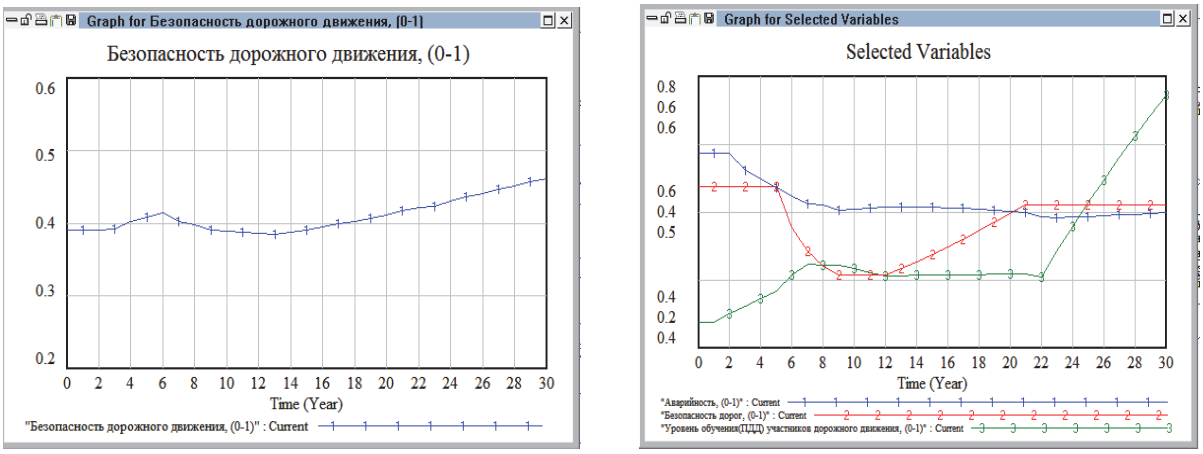


Рис. 6. Результаты моделирования с учетом мер, направленных на повышение безопасности транспортной системы

Уровень безопасности повышается на 5 %. С двадцатого по тридцатый годы увеличиваются штрафы, что повышает уровень обученности участников дорожного движения, при этом общий уровень безопасности также повышается. По результатам моделирования можно сделать вывод, что самыми действенными мерами являются увеличение штрафов и увеличение финансирования. В результате за 30 лет при заданных параметрах безопасность повысилась примерно на 25 %, но при этом отметка 0.6 (оценка “хорошо”) так и не была достигнута.

Выводы

Проведен комплексный анализ безопасности транспортной системы г. Волгограда на основе качественного и имитационного моделирования. Построенные модели позволяют провести предварительную оценку комплекса мер, направленных на повышение безопасности транспортной системы, а также сделать прогноз улучшения параметров транспортной системы. Полученные результаты могут быть использованы для поддержки принятия решений по управлению городской транспортной системой, что позволит разрабатывать более эффективные программы развития транспортной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Reichert, P.* Concepts of decision support for river rehabilitation / P. Reichert, M. Borsuk, M. Hostmann et al. // Environmental Modelling & Software. – 2007. – №22. – P. 188–201.

2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – [2013]. – Режим доступа: http://www.mintrans.ru:8080/pressa/TS_Proekt_16102008.pdf.

3. ФЦП "Развитие транспортной системы России (2010-2015 годы)" [Электронный ресурс]. – [2013]. – Режим доступа: http://rosavtodor.ru/information/Osnovnye_programmy/ftsp_razvitie_transportnoy_sistemyi_rossii_2010_2015_godyi.html.

4. Home :: The Qualitative Reasoning and Modelling Portal [Электронныйресурс]. – [2013]. – Режимдоступа: http://hcs.science.uva.nl/QRM/index.html.

5. *J. Sterman*, 2000. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill Companies, pp. 982.

6. *M. Gary, M. Kunc, J. Morecroft , S. Rockart*, 2008. System dynamics and strategy. System Dynamics Review. 24(4): 407–429.

7. *N.P. Sadovnikova, D. S. Parygin, E.V. Manunina*, 2013 Quality management of urban environment using the system dynamics method. Modern scientific research and their practical application. Is. 4 (J113). – Vol. J11307. http://sworld.com.ua/e-journal/j11307.pdf

8. *Садовникова, Н. П., Ермощенко, А. К.* Общие вопросы применения методологии имитационного моделирования для оценки эколого-экономической эффективности проектов градостроительной деятельности. Известия ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". –2011.–11(9): 94–97.

9. Vensim Product Center. Date Views 07.07.2013 http://www.vensim.com/

10. Динамика изменения численности автопарка транспортных средств [Электронный ресурс] . – [2013]. – Режим доступа: http://do.gendocs.ru/docs/index-371943.html?page=6.

11. Сведения о количестве зарегистрированного транспорта в Волгоградской области. Date Views 05.07.2013 http://platesmania.com/newforum/index.php/topic/5477/

12. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. – [2013]. – Режим доступа: http://www.gibdd.ru/stat.

13. Безопасность дорожного движения. Концепция нулевой смертности [Электронный ресурс]. – [2013]. – Режим доступа: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/roadsafe/unda/Sweden_Rus_VisionZero.pdf.

УДК 658.58:621

Т. В. Нгуен, А. В. Кизим

СТРАТЕГИИ, МЕТОДЫ ПОДДЕРЖКИ И МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ТОиР ОБОРУДОВАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

ntv8706@yahoo.com, kizim@mail.ru

В статье рассмотрены разные стратегии для технического обслуживания и ремонта. Показана связь между изменением технического состояния оборудования и принимаемой стратегией ремонтов. Выделены группы средств поддержки и повышения эффективности ТОиР, основные проблемы организации эффективного проведения ТОиР. На основе анализа предметной области ремонтной службы предложена и обоснована ее модель, ориентированная на повышение качества в управлении техническим обслуживанием и ремонтом.

Ключевые слова: оборудование, техническое обслуживание и ремонт оборудования, ТОиР, эффективное использование ресурсов оборудования, техническое состояние, модель, математический метод.

T. V. Nguyen, A. V. Kizim

STRATEGY, SUPPORT METODS AND MODEL CONTROL MRO EQUIPMENT

Volgograd State Technical University

In this article different stratagies of MRO were examined. The relationship between plant technical state and strategy of maintenance was shown. Support facility and rising performance groups was marked.In the foundation of analysis region object MRO, model was considered,which orients to rise quality of maintenance management.

Keywords: plant, equipment, maintenance, MRO, efficent use plant resource, technical state, model, mathematics metod.

В настоящее время на любом промышленном предприятии существует ремонтная служба (техническое обслуживание и ремонт-ТОиР), целью функционирования которой является поддержание оборудования в работоспособном состоянии. Эффективность ее работы в значительной степени определяется принятыми методами решения задач и взаимосвязями между ними в рамках общей системы. Известно значительное количество различных схем, описывающих взаимосвязи подразделений предприятия, направленных на выполнение ремонтов. Как правило, основой для их разработки являлись существующие исторически сложившиеся структуры ремонтной службы. Такой подход явился причиной дублирования информации и задач, наличия неоптимальных связей между ними и т.д. в рамках существующих структур ремонтной службы.

Для разработки оптимальной структуры ремонтной службы, адаптированной к условиям конкретного предприятия, необходимо использовать формальные методы. В этом случае ремонтная служба рассматривается как система, объектами воздействия которой являются оборудование и его элементы.

Известно, что в процессе эксплуатации оборудования техническое состояние (ТС) **Y** любого его элемента (детали) непрерывно ухудшается под воздействием внешней среды (рис. 1).

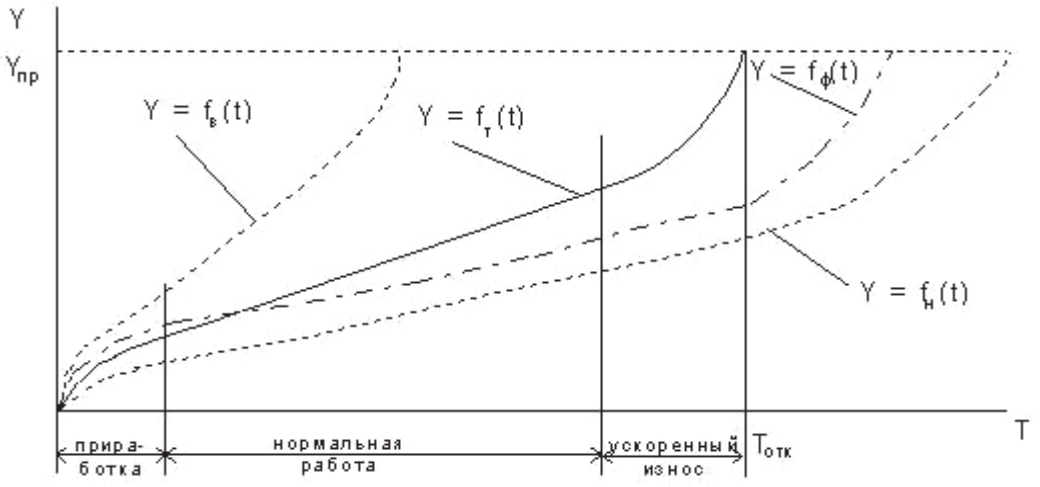


Рис. 1. Типичная кривая износа

При достижении предельного состояния $Y_{пр}$ в момент времени $T_{отк}$ элемент отказывает, и выполняется ремонт с целью восстановления его работоспособности. В общем случае процесс изменения ТС элемента оборудования может быть описан типичной кривой износа [1], на которой можно выделить три характерных участка: приработки, нормальной работы, ускоренного износа.

Учитывая стохастический характер факторов, влияющих на изменение ТС, можно считать, что функция $Y = f_T(t)$ является трендом (математическим ожиданием) изменения ТС объекта в случае средних условий его эксплуатации. Изменение ТС реального объекта $Y = f_ф(t)$ будет лежать между границей $Y= f_B(t)$ соответствующей самым тяжелым условиям эксплуатации и $Y = f_H(t)$ соответствующего самым легким условиям эксплуатации. В общем случае функция $Y = f_ф(t)$ не совпадает с трендом $Y = f_T(t)$ и граничными функциями $Y= f_B(t)$, $Y = f_H(t)$.

В зависимости от того, какая из рассмотренных функций используется при планировании и организации ремонтов возможны три стратегии.

Стратегия, в основе которой лежит выполнение аварийных ремонтов, базируется на кривой $Y = f_ф(T)$ и не предусматривает прогнозирования срока отказа $T_{отк}$. При ее использовании за срок отказа принимается срок фактического достижения функцией $Y=f_ф(T)$ значения $Y_{пр}$. Эта стратегия очень простая и предполагает, что ремонты выполняются после не запланированной остановки оборудования в результате разрушения его деталей. При этом происходит разрушение и соседних деталей, а ремонтная служба не готова к проведению ремонта. Это приводит к увеличенному расходу ресурсов необходимых для восстановления работоспособного состояния оборудования (запасных частей, количеству ремонтных бригад, времени простоя оборудования в ремонте).

В случае планово-предупредительных ремонтов по нормативу (ремонты по нормативу) срок отказа прогнозируется с использованием кривой $Y= f_B(t)$. При этом прогноз базируется на нормативном ресурсе определяемом усреднено по группе машин или в целом по отрасли с учетом требуемой вероятности безотказной работы P(t)оборудования. В случае ремонтов по нормативу остановка оборудования и замена деталей выполняется через строго регламентированные промежутки времени равные нормативному ресурсу. Во время ремонта все узлы и детали, выработавшие нормативный ресурс, заменяются новыми. Такой подход приводит к преждевременной замене деталей и неполному использованию их фактического ресурса, однако обеспечивает допустимое (расчетное) количество аварийных отказов.

Планово-предупредительные ремонты по техническому состоянию (ремонты по состоянию) предполагают, что с помощью средств технической диагностики, или иными методами, оценивается текущее ТС детали, описываемое кривой $Y = f_ф(T)$. Эти данные используются для прогнозирования срока ее отказа и замены. Такой подход значительно повышает точность прогнозасроков отказа детали, что позволяет назначать сроки ремонта наиболее близкие $T_{отк}$, следовательно максимально снизить затраты на ремонты. Однако переход к ремонтам по состоянию требует как усложнения структуры ремонтной службы, так и методов решения ее задач, базирующиеся на результатах диагностики.

Средство поддержки и повышения эффективности ТОиР

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

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

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

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

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

– отраслевые стандарты ТОиР, по отдельным отраслям;

– стандарты корпораций или предприятий, например «Лукойла».

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

4) отдельные методы, решающие частные проблемы. [2]

Можно сделать вывод, что имеющихся в нашей стране средств поддержки организации ТОиР явно недостаточно [3], и необходима разработка и адаптация широкого спектра современных средств поддержки ТОиР, в том числе методическое обеспечение [4; 5], программноинформационные системы [6], математические методы и алгоритмы решения задач [3; 6]. В мировой практике организации и поддержки ТОиР имеются инструменты такого рода (например, методологии RCM, TPM; методы FMEA, FMECA, RCA и другие), но по различным причинам они не применяются или применяются в недостаточной мере).

Модель поддержки ТОиР с использованием техники в соответствии с уровнем ее надежности

Исходя из проведенного анализа, наиболее прогрессивная стратегия ТОиР – по состоянию, может осуществляться двумя методами в зависимости от контролируемого показателя: с контролем уровня надежности и с контролем параметров.

При этом главная задача технической эксплуатации − оптимальное использование машин в соответствии с их техническим состоянием (ТС), состоит в распределении техники по объектам работы, соблюдая соответствие уровня надежности (УН) машин требуемому уровню надежности для конкретного объекта. Превышение УН над требуемым повлечет лишние затраты на обеспечение надежности машин. НедостаточныйУН вызовет возникновение ущерба из-за простоев.

Схема поддержки ТОиР с использованием техники по УН представлена на рис. 2. Контроль УН производится по значению коэффициента готовности оператором (3). Коэффициент готовности машины $Кг_i$ не должен быть меньше требуемого для j-го объекта $Кг_j$. В случае выполнения этого условия машина отправляется на объект работы. В противном случае производится оценка целесообразности повышения $Кг_i$ методами ТЭ по уровню рентабельности R_iмашины оператором (5). Если рентабельность ее использования превышает минимально допустимый уровень R_{min}, то производится повышение работоспособности методами ТЭ – оператор (6). Если $R_i<R_{min}$, то следует избавиться от нерентабельной машины средствами оператора (7).

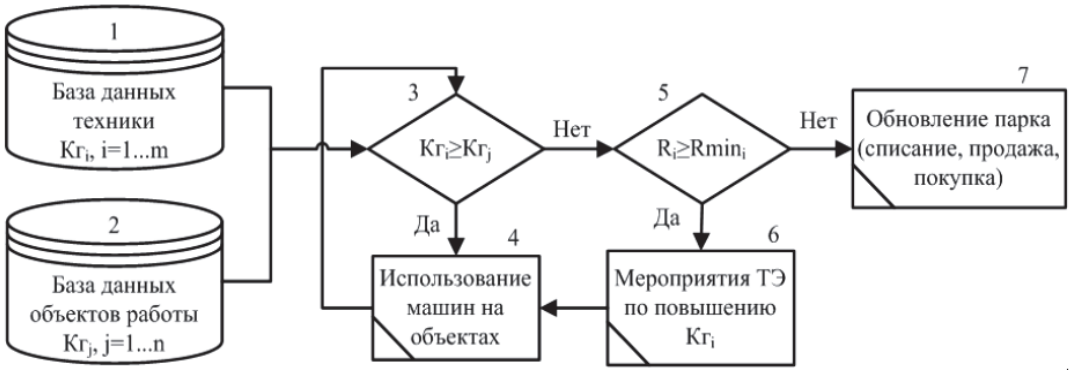


Рис. 2. Модельподдержки ТОиР с использованием техники в соответствии с уровнем ее надежности

Контроль УН в процессе использования машины производится оператором (3) путем сбора эксплуатационной информации по отказам, затратам, наработке и обработки с помощью математических моделей [7]. Контроль параметров технического состояния узлов машины осуществляется посредством диагностирования в процессе использования машины и проведения мероприятий ТОиР.

По результатам диагностирования проводится комплекс мероприятий по обеспечению работоспособности машин оператором (6). Значения контролируемых параметров служат основой для оперативного планирования мероприятий ТОиР, уровень надежности – тактического, путем введения корректирующих коэффициентов режимов ТОиР.

По окончании работы каждого оператора информация о машине и состоянии дел на объекте работы поступает в соответствующие базы данных.

Кроме того необходимо отметить, что с использованием подхода в [8], процесс поддержки обслуживания оборудования можно разделить на типовые этапы: определение целей и задач, определение и измерение ключевых процессных параметров, анализ информации, произведение улучшений и контроль. Такое разделение позволяет применять типизированные средства поддержки эксплуатации оборудования. Также по результатам проведенных исследований выделены следующие задачи информационной поддержки ТОиР на этапе эксплуатации оборудования: сбор и обработка данных о функционировании оборудования и процессе ТОиР; накопление, выделение, структурирование и использование знаний; анализ информации и поддержка принятия решений (ППР).

Таким образом, применение изложенной модели и планомерное отслеживание, а также специализированными математическими методами из выделенного комплекса средств поддержки, позволяет повысить качество ТОиР, эффективность использования оборудования и снизить затраты на жизненный цикл оборудования различных предприятий и организаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.*Седуш, В. Я.* Надежность ремонт и монтаж металлургических машин. К.: НМК ВО, 1992. -368с.

2. *Кизим, А.В.* Задачи и методы поддержки ТОиР оборудования на протяжении его жизненного цикла / А.В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 13 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - № 4 (91). - С. 55-59.

3. *Кизим, А. В.* Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Известия Волгоградского государственного технического университета :межвуз. сб. науч. ст. № 6(54) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2009. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в техн. системах. Вып. 6). – С. 118–121.

4. *Кизим, А. В.* Исследование и разработка методики автоматизации ремонтных работ предприятия / А. В. Кизим, Н. А. Линев // Известия Волгоградского государственного технического университета :межвуз. сб. науч. ст. № 2(40) / ВолгГТУ. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2008. – (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 4). – С. 43–45.

5. *Кизим, А. В.* О методологических аспектах решения задач программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта / А.В. Кизим, С.В. Шевченко //Вісник національного технічного університету «ХПІ»: зб. наук.праць. Тем.випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – 2011. – № 35. – С. 56–61.

6. *Кизим, А. В.* Постановка и решение задач автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (Доклады ТУСУРа). – 2009. – № 2 (декабрь). – С. 131–135.

7.*Репин С.В.* Оптимизация показателей надежности строительных машин в эксплуатации // Строительные и дорожные машины. – 2006. – № 5. – С. 28-31.

8. Enterprise System Focused on Asset Performance Management. [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : http://www.reliasoft.com/pubs/reliasoft_orion.pdf.

УДК 004.912

А. Н. Солошенко, Ю. А. Орлова, В. Л. Розалиев

АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕФЕРИРОВАНИЯ НОВОСТНЫХ ИНТЕРНЕТ-ТЕКСТОВ*

Волгоградский государственный технический университет

nastyasolan@gmail.com

Данная статья посвящена проблеме составления обзорных статей по текстам интернет-новостей. В статье рассматривается построение и структура новостного текста, этапы его анализа, принципы и методика составления рефератов по новостным статьям.

Ключевые слова: автоматизация реферирования, информационные ресурсы, новостные интернет-тексты, методы реферирования.

A. N. Soloshenko, Y. A. Orlova, V. L. Rozaliev

AUTOMATIZATION OF INTERNET NEWS TEXT ABSTRACTING

Volgograd State Technical University

This article is devoted to a problem of an automated abstracting – drawing up reviews in texts of Internet news. Construction and structure of the news text, stages of its analysis, principles and methods of drawing up of author's abstracts under news articles are considered.

Keywords: automated abstracting, information resources, Internet news texts, methods of abstracting.

* Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 12-07-00266, 12-07-00270).

Ежедневно в сети Интернет появляются миллионы страниц новостных текстов. Сотни тысяч людей описывают события и явления, берут интервью, создают посты в блогах. Так, например, только число ежедневных сообщений в Twitter приблизилось к отметке 400 миллионов записей в день, или почти 4,5 тысячи сообщений в секунду. Обработка информационного материала вручную требует колоссальных человеческих ресурсов, трудовых и временных затрат, поэтому и возникла задача создания методики для автоматизации реферирования статей. Потребности в средствах автоматического реферирования и аннотирования испытывают: корпоративные системы документооборота, поисковые машины и каталоги ресурсов Internet, автоматизированные информационно-библиотечные системы, каналы вещания, службы рассылки новостей и др. [7]

В России, как и за рубежом, данному направлению исследований придается очень большое значение [2; 5; 8]. В настоящее время известно большое количество систем автоматического реферирования текстов. Среди отечественных это TextAnalyst, Content Analyzer, технологии АОТ, RCO, редактор Microsoft Word, МедиаЛингва Аннотатор, система Яндекс Новостей, среди зарубежных - Extractor , QDA Miner, системы Inxight Summarizer (компонент поискового механизма AltaVista), Intelligent Text Miner (IBM). [4, 5] Однако многие ведущие системы разработаны на Западе и ориентированы исключительно на обработку западноевропейских языков, что делает их непригодными для анализа текстов на русском языке. Возможности некоторых отечественных систем ограничены выбором оригинальных фрагментов из исходного документа и соединением их в короткий текст на основе только статистических методов реферирования. [3]

Кроме того, мало систем ориентированы непосредственно на реферирование новостных текстов. Как правило, таковыми являются компоненты поисковые механизмы различных систем (Яндекс Новости, Inxight Summarizer, разработка Newblaster). Но и их задача – автоматическое аннотирование новостных кластеров (групп текстов заданной тематики), а не отдельных текстов, выбранных пользователем. [6]

Для упрощения изучения существующих и создания новых интернет-текстов необходимо представление статей в сжатом виде, но с сохранением их смысла (так, например, для публикации в твиттере новость необходимо сократить до 140 символов, но при этом не потерять сути). Поэтому для достижения наиболее оптимального результата необходимо совместить несколько алгоритмов реферирования. Рассмотрим специфику новостных статей, их структуру и методику автореферирования.

Структура новостного текста может варьироваться в зависимости от задач и определяется авторами индивидуально. Однако, как правило, для такого типа текстов характерна пирамидальная структура. В ее основу заложен принцип «перевернутой пирамиды», который требует размещение основной информации в самом начале материала и последующее ее раскрытие далее по тексту в деталях.

Проанализировав ряд статей, представленных на известных новостных сайтах, таких как сайт газет Lenta.ru, NewsRu.com, Коммерсант.ru, Эксперт (и других, относящихся к топ-30 новостных порталов Рунета), можно построить обобщенную структуру текста новости (рис. 1).

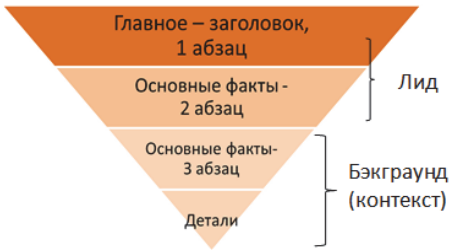


Рис. 1. Структура новостного текста

- Заголовок новости отражает ее тему и содержит не более 10 слов (около 80 символов). Так, для примера, в Яндексе отображается не более 15-ти

слов в тайтле, Google показывает до 70 слов.

- Основные факты, касающиеся события, отражены в 1-2 абзацах, и составляют так называемый лид текста (освещает главную тему).

- 3-й и последующие абзацы составляют бэкграунд новости (контекст). Как правило, здесь раскрываются детали происходящего, дается информация, напрямую касающаяся новости.

Поэтому, зная особенности построения интернет-текстов, можно определить, какие проблемы ставит автор текста, выделить ключевые факты новостной статьи, определить объекта и субъекта новости, составить связный реферат. Далее в работе будет рассмотрена методика автоматизации реферирования таких текстов.

На сегодняшний день существует множество путей решения задачи реферирования. Для обработки новостных текстов будем применять

традиционный подход квазиреферирования, предложенный Г. Луном, с некоторыми модификациями.

Решение задачи реферирования текста новости можно разбить на несколько этапов (отражены на рис. 2).

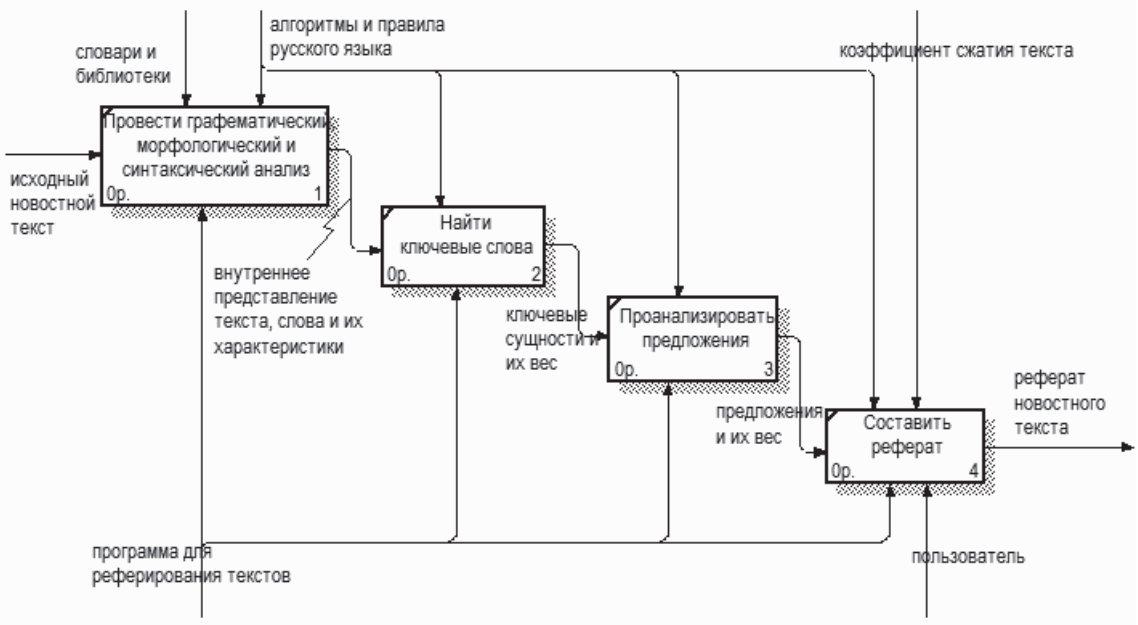


Рис. 2. Последовательность действий при реферировании

Графематический анализ представляет собой начальный этап обработки текста, в ходе которого определяются элементы грамматической структуры текста. [4] На данном этапе вырабатывается информация, необходимая для дальнейшей обработки морфологическим и синтаксическим анализаторами. [6] В задачу графематического анализа входит внутреннее представление структуры новости: T = <P, S, W>, где P – абзацы, S – предложения, W – слова. При этом необходимо корректно выделить заголовок и первое предложение абзаца, содержащее основные факты статьи.

Следующим этапом является морфологический анализ, цель которого –

построение морфологической интерпретации слов входного текста. Все методы можно поделить на словарные и вероятностно-статистические (без использования словаря). Недостатками первых являются большой объем лексиконов, плохая работа на малой выборке, отсутствие точных лингвистические методов. Словарный же метод основан на подключении словаря, тезаруса, дает максимально полный анализ словоформы.

Поэтому для данного блока была выбрана библиотека MCR.dll. Морфоанализ здесь построен на основе словаря А.А. Зализняка, содержащего порядка 100 тысяч слов общеупотребительной лексики языка, который прилагается к программным модулям. Для каждого слова входного текста выдается множество морфологических интерпретаций следующего вида: морфологическая часть речи; лемма – каноническая форма лексемы (например, существительное в и.п. ед.ч. или глагол–инфинитив); множество наборов граммем – элементарных описателей, относящих слово-форму к какому–либо морфологическому классу (род, одушевленность, число, падеж). [5] Для работы с незнакомыми словами целесообразно использовать стеммер Портера.

Алгоритм морфологического анализа представлен на рис. 3.

Синтаксический анализ рассматривается как задача построения дерева

зависимостей предложения. Задача создания такого анализатора является довольно трудоемкой, поэтому разрабатывается упрощенный синтаксический анализатор для разбиения сложных предложений на простые.

Для выделения же ключевых слов в настоящее время разработано множество методов. Наиболее известные из низ - TF-IDF и C-Value.

TF-IDF – статистическая мера, используемая для оценки важности слова в контексте документа. TF – отношение числа вхождения не-

которого слова к общему количеству слов документа.

$$TF = \frac{n_i}{\sum_k n_k} \quad (1)$$

Рис. 3. Алгоритм морфологического анализа

IDF – инверсия частоты, с которой слово встречается в документе, ее учет уменьшает вес широкоупотребительных слов.

$$IDF = \log \frac{|D|}{|(d_i \supset t_i)|} \quad (2)$$

где |D| — количество документов в корпусе; $|(d_i \supset t_i)|$ - количество документов, в которых встречается t_i (когда $n_i \neq 0$).

Мера TF-IDF является произведением двух сомножителей: TF и IDF.

Метод C-Value позволяет сопоставить каждой извлеченной из текста именной группе значение терминологичности, вычисляемое по формуле:

$$C-Value(a) - \begin{cases} \log_2 |a| \cdot freq(a), \text{ если не вложен} \\ \log_2 |a| \cdot freq(a) - \frac{1}{P(T_a)} \cdot \sum_{b \in T_a} freq(b) \end{cases} \quad (3)$$

где a – кандидат в термины, |a| - длина словосочетания в количестве слов, freq(a) – частотность a, T_a – множество словосочетаний, содержащих a, $P(T_a)$ – количество словосочетаний, содержащих a. [2]

Однако отметим, что для новостных текстов уже существуют программные модули для извлечения ключевых сущностей. К таковым относится *SDK*, полностью написанный на C#.NET. Поэтому для программы разработан алгоритм поиска ключевых слов, сочетающий выделение именованных сущностей из текста новости (на основе результатов морфологического анализа и подключаемого модуля SDK), подсчет веса слова с учетом частоты его встречаемости (рис. 4).

Рис. 4. Алгоритм поиска ключевых фраз

Пороговое значение для признания слова ключевым рассчитывается по формуле: Порог. Знач. = 0,2 max ОЧ (4), где ОЧ – относительная частота встречаемости кандидата в ключевые слова в тексте.

Для составления выдержек необходимо выделить характерные фрагменты. Среди наиболее известных методов – выделение фрагментов «объект-действие-субъект» (с использованием POS-таггера AOT для определения частей речи), реализация которого основана на использовании модификации алгоритма LexRank, а также ранжирование связных тематических структур с использованием алгоритма Manifold Ranking, где связная структура текста описывается при помощи матриц. [6]

Перед составлением аннотации новости необходимо выполнить следующую обработку предложений текста (рис. 5).

Подсчет веса предложений осуществляется в зависимости от его нахождения в тексте. Для заголовка и предложений первого абзаца

$$Ws = N(kw)\cdot Rf(kw),$$

где Ws – вес предложения, N(kw) – количество вхождений ключевого слова в предложение, Rf(kw) – относительная частота ключевого слова. Для остальных предложений:

$$Ws = N(kw)\cdot Rf(kw)\cdot 0{,}8.$$

В аннотацию включаются предложения с наибольшим весом, в зависимости от заданного коэффициента сжатия.

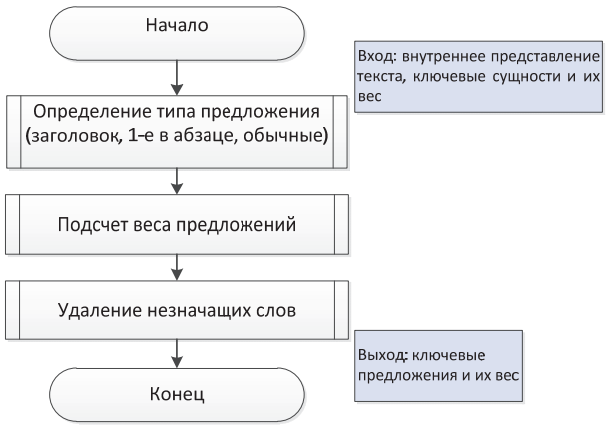


Рис. 5. Алгоритм анализа предложений

Кроме перечисленных блоков, в разрабатываемой программе планируется реализация интеграции с новостными интернет сайтами, возможность сокращения текста для твиттера.

Рассмотрим работу алгоритма составления реферата текста на примере новостного сообщения, взятого из Интернет, под заголовком «Медики выяснили, в какое время суток человек чувствует себя счастливым»:

«Ученые из США потратили два года на то, чтобы узнать - в какое время суток человек чувствует себя наиболее счастливым? Ученые анализировали сообщения Твиттера. Всего изучались 600 млн. сообщений от 2,5 млн пользователей из более 80 государств. В ходе исследования выяснилось, что пользователи оказались более счастливы утром. К вечеру эмоциональное настроение людей постепенно портится.

Кроме того, выяснилось, что самое хорошее настроение у людей бывает в зимние месяцы: с декабря по январь, сообщает epidemiolog.ru. Однако, надо уточнить: счастливый период заканчивается, скорее всего, не в конце января, а 16-го. Это третий понедельник января, который считается самым депрессивным днем в году.

К такому выводу пришел британский психолог Клифф Арнэлл из Университета Кардиффа. Он вывел сложную формулу, которая учитывает отвратительную, как правило, погоду, то, что праздники прошли и надо браться за работу, надо как-то планировать свое будущее. Не радует и то, что до следующих праздников далеко.

Путем деления и умножения специальных коэффициентов, отражающих вышеозначенное состояние человеческой души в середине января, ученый якобы и получил дату, соответствующую третьему понедельнику.» [1]

В результате применения алгоритма предполагается получить следующие результаты.

Ключевые фразы: надо, ученые, выяснилось, настроение, людей, человек, Твиттер, узнать, время суток, чувствует, наиболее счастливым, третий понедельник.

Автореферат текста: «Ученые из США потратили два года на то, чтобы узнать - в какое время суток человек чувствует себя наиболее счастливым? В ходе исследования выяснилось, что пользователи оказались более счастливы утром. Надо уточнить: счастливый период заканчивается, не в конце января, а 16-го. Это третий понедельник января, который считается самым депрессивным днем в году. К такому выводу пришел британский психолог Клифф Арнэлл из Университета Кардиффа. Он вывел сложную формулу, которая учитывает отвратительную, как правило, погоду, то, что праздники прошли и надо браться за работу, надо как-то планировать свое будущее».

Таким образом, была разработана методика реферирования новостных интернет-текстов, основываясь на совмещении и модификации существующих алгоритмов составления реферата. В условиях нынешнего информационного века, с огромным количеством новостных сообщений в сети интернет, применение таких технологий является необходимостью, так как значительно ускоряет обработку повседневной информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Главные события политической жизни/ KP.RU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kp.md/daily/25982.5/2915545/.

2. *Браславский П., Соколов Е.* Сравнение пяти методов извлечения терминов произвольной длины// Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По

материалам ежегодной Международной конференции «Диалог». Вып. 7 (14). – М.: РГГУ, 2008. - С. 67-74.

3. *Заболеева-Зотова, А.В*. Моделирование лексического анализа текста технического задания / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А. // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах": межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2007. - Вып.2, №2. - С. 50-53.

4. *Заболеева-Зотова, А.В*. Автоматизация процедур семантического анализа текста технического задания / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А. // Известия ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах": межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2007. - Вып.3, №9. - С. 52-55.

5. *Орлова, Ю.А*. Алгоритмическое обеспечение анализа текста технического задания и построения моделей программного обеспечения / Орлова Ю.А. // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2010. - № 6. - С. 68-72

6. *Орлова, Ю.А.* Расширенная нечеткая атрибутная грамматика над фреймовой структурой текста технического задания/ Ю. А. Орлова // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 11 (71) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып.9). – С. 60-63.

7. Развитие системы автоматизированного определения эмоций и возможные сферы применения / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Бобков А.С. // Открытое образование. - 2011. - № 2. - С. 59-62.

8. *Тарасов С. Д.* Алгоритм ранжирования связных структур в задачах автоматического составления обзорных рефератов новостных сюжетов. // RuSSIR’2008, труды Второй Российской конференции молодых ученых по информационному поиску. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2008. – С. 90-100.

9. Automated identification of human emotions based on analysis of body movements / Заболеева-Зотова А.В., Бобков А.С., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Половинкин А.И. // Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23-26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conferences Interfaces and Human Computer Interaction and Game and Entertainment Technologies 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 299-304.

10. Formalization of inital stage of designing multicomponent software / Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А., Розалиев В.Л., Фоменков С.А., Петровский А.Б. // Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2013 (Prague, Czech Republic, July 23-26, 2013) : Proceedings of the IADIS International Conference Intelligent Systems and Agents 2013 / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – [Prague], 2013. – P. 107-111.

УДК 007.5; 004.85

С. Ф. Чалый, Е. О. Богатов

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ СТРУКТУРИЗАЦИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

s_chaliy@mail.ru, bogatovevgeniy@gmail.com

В статье представлены модели и методы предварительной структуризации наборов исходных данных в задачах интеллектуального анализа процессов. Выделены требования к представлению исходных данных (журналов регистрации событий), построена обобщенная модель журнала регистрации событий, предложены методы структуризации. Приведенные результаты расширяют сферу применения методов интеллектуального анализа процессов.

Ключевые слова: бизнес-процесс, журнал регистрации событий, интеллектуальный анализ процессов, процессно-ориентированные системы.

S. F. Chaliy, E. O. Bogatov

THE MODELS AND METHODS OF LOG FILES PROCESSING BASED ON PROCESS MINING TECHNOLOGY

Kharkov National University of Radioelectronics

The models and methods of restructuring of a sources data sets in processes mining assignments are presented in article. The requirements to submission of initial data (event logs) are identified, was constructed a generalized model of the event logs and methods of structuring was proposed in article . The results that was proposed in article extends the scope of processes mining applications.

Keywords: business-process, event log, processes mining, process-oriented systems.

Введение

В настоящее время в мире эксплуатируется не менее полумиллиона процессно-ориентированных систем, в основе работы которых лежат документированные бизнес-процессы [1-3]. Под бизнес-процессом понимают последовательность работ, которая по заданной технологии преобразует входы бизнес-процесса в его

выходы [3]. В основе процессных систем лежат модели бизнес-процессов. Процессно-ориентированные системы функционируют, интерпретируя модели бизнес-процессов. Ход выполнения бизнес-процессов в таких системах отражается с помощью журнальных файлов (логов, журналов регистрации событий). Файлы логов фиксируют последовательности событий, возникающих при выполнении бизнес-процессов, с указанием атрибутов этих событий.

Журнальные файлы могут быть использованы для построения моделей новых, недокументированных процессов, а также проверки адекватности существующих моделей. Для этого используются методы интеллектуального анализа процессов (process mining). Существующие методы требуют, чтобы исходные данные имели четко определенную структуру, отражающую происходившие события с указанием временных меток, исполнителей действий процесса и объектов, над которыми эти действия выполнялись.

Все изложенное и определяет актуальность проблематики формирования наборов исходных данных для решения задач интеллектуального анализа процессов.

Анализ литературы

В работах [1,3] представлено общее описание технологии интеллектуального анализа процессов (ИАП), структуры журнала регистрации событий (ЖРС), а также базовых методов и подходов данной технологии. Следует отметить, что существующие методы ИАП ориентированы на структурированные журналы регистрации событий, которые формируются процессно-ориентированными системами. Для использования методов ИАП с логами традиционных, функционально-ориентированных информационных систем, необходимо выполнить предварительную структуризацию ЖРС.

В ряде работ [4,5] рассмотрены методы преобразования неструктурированных (в смысле процессного подхода) журналов регистрации событий к структурированному виду, однако данные методы не обобщают модель неструктурированного ЖРС, с выделением необходимых направлений его упорядочивания, что значительно сужает область их применения.

Таким образом, проблема предварительной структуризации журналов регистрации событий с приведением их к виду, пригодному для решения задач интеллектуального анализа процессов, безусловно, является актуальной.

Постановка задачи

Задача данного исследования заключается в формализации представления неструктурированного (в смысле процессного подхода) ЖРС, а также разработке методов трансформации его структуры для использования в качестве наборов исходных данных при построении моделей бизнес-процессов методами ИАП.

Исходными данными задачи являются: типовая структура журнала регистрации событий процессно-ориентированной системы, содержащая информацию о частично-упорядоченной последовательности событий бизнес-процесса с указанием их атрибутов; типовая структура журнала регистрации событий традиционной (не процессно-ориентированной) информационной системы, описание событий в которой не упорядочено по процессам.

Необходимо выявить ограничения на использовании неструктурированных ЖРС в имеющихся методах, обобщить и формализовать структуру журнала регистрации событий для традиционных функционально – ориентированных систем, а также предложить методы предварительной структуризации таких журналов.

Требования к структуре исходных данных при решении задач ИАП

Общие требования к структуре исходных данных при решении задач ИАП приведены в работе [1]. Уточним данные требования на основе анализа базового алгоритма ИАП. Базовый алгоритм технологии включает в себя 8 этапов.

Базовый алгоритм технологии ИАП состоит из 8 этапов. Первый этап данного алгоритма подразумевает выделение последовательности процедур БП, за заданный промежуток времени. В роли процедур выступает типовой элемент журнала case, который определяется как множество событий журнального файла L. На втором этапе определяются начальные события процедур, которые определены в журнале как первое событие каждой из вошедших в рассматриваемый журнал процедур. На третьем этапе определяются заключительные события путем поиска последних событий в каждой из рассматриваемых процедур. Определение начальных и заключительных событий осуществляется путем сравнения времени наступления того или иного события процедуры. На четвертом этапе выделяются наборы входных и выходных переходов. При этом на четвертом этапе отмечается, что элементы входящие во входное или выходное множества процедур не

могут располагаться друг за другом, т.е. должно происходить обязательное чередование элементов каждого из множеств. Таким образом осуществляется верификация следования событий БП. На пятом этапе происходит сокращение области допустимых значений, происходит отбор максимальных по размеру последовательностей событий, т.е. осуществляется отсев событий, процедур с частотой меньше заданного порогового значения. На шестом этапе в происходит дополнение пятого этапа уникальными входными и выходными позициями. На седьмом этапе мы формируем дуги, по средствам выявленных заключительных и начальных событий. Данные этапы выделяется в связи с тем что базовый алгоритм изначально разрабатывался для представления бизнес-процессов по средствам сетей Петри. На последнем этапе осуществляется построение модели БП по средствам сетей Петри. Результаты данного анализа представлены в табл. 1.

Анализ исходных данных для базового алгоритма ИАП

Шаги алгоритма	Элементы журнального файла				
	Процедура	Событие	Временная отметка	Объект	Пользователь
Выделение последовательности процедур БП	+	+	+	–/+	–/+
Формирование множества начальных событий	+	+	+	–/+	–/+
Формирование множества начальных событий	+	+	+	–/+	–/+
Верификация выделенных начальных и конечных событий связей между процедурами	+	+	+	–/+	–/+
Фильтрация рассматриваемых процедур по пороговому значению	+	–/+	–/+	–/+	–/+
Формирование дуг сети Петри	+	+	–	–	–
Выделение уникальных входных и выходных позиций	+	+	–	–	–
Формирование сети	+	+	+	–/+	–/+

Примечание . + - используется, – -не используется, –/+ - используется неявно.

Обобщив анализ литературы и выполненный анализа алгоритма, приходим к выводу, что для журнального файла характерны следующие особенности: зарегистрированные события отражают элементарные действия в информационной системе; зарегистрированные события имеют атрибут времени; зарегистрированные события, как правило, связаны с теми или иными ресурсам, объектами, исполнителями. Для проведения интеллектуального анализа процессов структура журнального файла должна содержать следующие элементы: идентификатор последовательности выполнения процедуры; событие; временной параметр; объект; исполнитель.

Модели журналов регистрации событий

Выполненный анализ позволяет уточнить обобщенную модель журнала регистрации событий процессно-ориентированной системы. В такой модели ключевым является временной порядок событий в рамках ситуаций (case). Каждая из таких ситуаций соответствует бизнес-процессу либо его части (подпроцессу). Таким образом, журнальные файлы процессно-ориентированных систем описываются в виде наборов событий, каждый из которых отражает упорядоченное во времени подмножество действий, происходивших в i- ситуации c_i. Для каждой ситуации бизнес-процесса задается отношение порядка относительно времени $\coprod_t$ для каждой пары соседних элементов (e_{t_k}, e_{t_l}):

$$G_{Bp} = \{c_i\}, c_i = \{E_j\}, E_j \subseteq E, \left(\forall e_{t_k}, e_{t_l} \in E_j\right) \exists \coprod_t (e_{t_k}, e_{t_l}) \quad (1)$$

где E – множество событий в ЖРС; e_{t_k}, e_{t_l} – события, которые произошли (начали выполняться) в моменты времени t_k и t_l

Данное отношение порядка определяет, что между событиями e_{t_k}, e_{t_l} на шкале времени в ЖРС не существует промежуточных событий:

В свою очередь, каждое событие процесса e_n характеризуется следующим набором параметров:

$$e_n = (t_n^*, t_n^{**}, obj_s, isp_p), \quad (2)$$

где t_n^*, t_n^{**} – моменты времени начала и завершения события e_n; obj_s – объект, с которым рабо-

тает процедура процесса, отраженная в ЖРС в виде события e_n ; isp_p - исполнитель процедуры процесса, отраженной в ЖРС в виде события e_n.

Для выполнения структуризации журнала регистрации событий традиционной информационной системы модель (1) следует дополнить отношениями порядка $\coprod_{Obj}(e_{obj_q}, e_{obj_d})$ и $\coprod_{Os}(isp_p, isp_r)$ по исполнителям и объектам бизнес-процесса. Такое дополнение позволит разбить единую последовательность событий на подпроцессы, связанные с последовательностью действий выбранного подмножества исполнителей либо действий по обработке выбранного подмножества объектов. Тогда, модель неструктурированного журнала имеет следующий вид:

$$G_{Fp} = \{E_j\},\ E_j \subseteq E, E_j = \{e_n\},\ e_n = (t_n^*, t_n^{**}, obj_s, isp_p)\ (\forall e_k, e_l \in E_j)(\exists \coprod_{obj,Os,t}(e_k, e_l)) \quad (3)$$

где $\coprod_{obj,Os,t}(e_k, e_l)$ − отношение порядка на множестве объектов, на множестве исполнителей и по времени.

Методы подготовки наборов исходных данных для задач ИАП

Формализация моделей представления журналов регистрации событий позволяет предложить следующие методы их структуризации для решения задач ИАП:

– метод формирования ограничений в задаче структуризации журналов регистрации событий;

– метод предварительной обработки журналов регистрации событий в задачах интеллектуального анализа процессов.

Приведем краткую характеристику разработанных методов.

Метод формирования ограничений в задаче структуризации журналов регистрации событий реализует выявление причинно-следственных связей между событиями, объектами, пользователями бизнес-процесса на основе анализа ЖРС. Метод включает в себя следующие этапы:

– формирование перечня объектов, с которыми оперирует процесс на основе анализа журнала регистрации событий;

– формирование набора ограничений по событиям,объектами, исполнителями, на протекание БП;

– верификация полученных результатов.

Метод предварительной обработки журналов регистрации событий в задачах интеллектуального анализа процессов позволяет выделить подмножество событий ЖРС, соответствующее одному бизнес-процессу (подпроцессу), связанному с обработкой заданных наборов объектов или работой заданного подмножества исполнителей. Метод включает в себя следующие основные этапы:

– отбор подмножеств событий, происходивших в заданном интервале времени, и связанных с этими событиями объектов;

– отбор подмножеств событий для заданного набора объектов с которыми оперирует процесс;

– сортировка событий по времени, а затем на основе причинно следственных связей между объектами;

– выявление начальных и конечных событий будущих последовательностей для каждого отобранного подмножества;

– формирование процессно-ориентированного журнала на основе частично упорядоченных последовательностей событий.

Метод предварительной обработки журналов регистрации событий упорядочивает выделенное подмножество элементов журнала таким образом, чтобы получившийся набор данных мог быть использован для построения модели бизнес-процесса методами интеллектуального анализа процессов.

Результаты экспериментального исследования

В настоящее время при решении задач ИАП на основе неструктурированных по процессам данных, помимо предложенных автором методов, разработаны методы направленные на реорганизацию выходной модели и методы, основанные на кластеризации данных.

Первый метод направлен на выявление структуры в полученной слабоструктурированной модели бизнес-процесса. Метод включает пошаговую очистку результирующей модели посредством: группировки связанной информации по кластерам, сокрытия слабосвязанной информации, дополнительного графического

выделения важных для БП элементов, фильтрации неактуальной в рассматриваемом контексте информации [4]. Адекватность формируемой модели для данного метода в значительной степени зависит от знаний аналитика в области моделирования бизнес-процессов.

Второй метод позволяет сформировать группы подобных объектов, которые в ряде случаев являются основанием для выделения траектории реализации бизнес-процесса, однако не учитывает наличие петлей и циклов в анализируемом процессе [5].

При проведении экспериментального исследования предложенных методов были использованы модели бизнес-процессов на ЗАО «Хладопром».

Результаты исследования показали, что комбинация двух предложенных методов позволяет повысить точность определения связей между процедурами бизнес-процесса не менее чем на 15%. Точность выявления параллельных ветвей бизнес-процесса практически не отличается от результатов, полученных при применении альтернативных методов.

Выводы

В статье исследованы особенности формирования наборов исходных данных при решении задач интеллектуального анализа процессов. Выделены требования к таким данным. Предложены формализованное представление наборов исходных данных для задач ИАП как при работе с процессно-ориентированными, так и традиционными информационными системами. Предложены методы преобразования исходных данных к виду, пригодному для решения задач ИАП. Полученные научные результаты расширяют сферу применения методов интеллектуального анализа процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *W. M. P. van der Aalst*. Process Mining : Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / W. M. P. van der Aalst. – N.–Y. : Springer Verlag. – 2011. – 370.

2. *W. M. P. van der Aalst*. Process–Aware Information Systems: Lessons to be Learned from Process Mining / W. M. P. van der Aalst // Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency II. – Eindhoven: Springer Berlin Heidelberg., 2009. – 1–26 pp.

3. *Репин В.В.* Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. / В.В.Репин, В.Г.Елиферов. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2005.— 408 с.

4. *Liqiang Geng*. Discovering Structured Event Logs from Unstructured Audit Trails for Workflow Mining / Liqiang Geng, Scott Buffett, Bruce Hamilton // Foundations of Intelligent Systems. ISMIS. – Prague: Springer Berlin Heidelberg. – 2009. – 442 – 452 pp.

5. *W. M. P. van der Aalst*. Finding Structure in U nstructure d Processes: The Case for Process Mining / W.M.P. van der Aalst, C.W. Gunther // Application of Concurrency to System Design, 2007. ACSD 2007. – Bratislava: ACSD, 2007. – 3–12 pp.

УДК 621.311; 519.816

В. А. Шакиров, В. А. Фадеев

МОДЕЛЬ АНАЛИЗА РАЗВИТИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Братский государственный университет

mynovember@mail.ru, carfaddey15@rambler.ru

В статье предлагается системный подход к проблеме развития генерирующих мощностей в изолированном районе. Предложена модель, описывающая последствия строительства тепловой электрической станции. Предложено использование нечеткого вывода для агрегации оценок факторов в рассматриваемой модели. Представлены результаты моделирования и оценки экологических последствий.

Ключевые слова: системный подход, воздействия тепловой электростанции, экологические последствия, нечеткий вывод.

V. A. Shakirov, V. A. Fadeev

MODEL ANALYSIS OF DEVELOPMENT OF GENERATING CAPACITY BASED ON FUZZY INFERENCE

Bratsk State University

In this article system approach to the problem of development of generating capacity in isolated areas is proposed. The model describing the consequences of thermal power plants building is proposed. It is proposed to use fuzzy inference for aggregation factor scores in this model. The results of modeling and evaluation of ecological implications are presented.

Keywords: system approach, effects of thermal power plant, ecological implications, fuzzy inference.

Строительство электрических станций сопряжено с экономическими, экологическими, социальными воздействиями, с необходимостью учета факторов общественного мнения, факторов здоровья и безопасности населения [1]. При анализе вариантов развития генерирующих мощностей необходимо дать оценку возможных последствий. Однако, при формализации воздействий электрической станции возникает ряд сложностей. Наряду с воздействиями, которые могут быть оценены количественно – некоторые экологические показатели, существуют воздействия, формализация которых затруднительна, например – социальные. По ряду показателей, в условиях ограниченных финансовых, трудовых, временных ресурсов, не могут быть даны точные оценки, иногда даже интервалы оценок, например экологические последствия при добыче угля в неосвоенном районе. Таким образом, возникает проблема описания воздействий, агрегации разнородных оценок воздействий.

В качестве объекта исследования будем рассматривать проблему анализа последствий развития генерирующих мощностей в изолированном районе. Под изолированными районами будем понимать удаленные, малоразвитые и энергодефицитные районы. Вследствие удаленности, для энергетики таких районов является характерным либо полное отсутствие, либо наличие слабых связей с внешней энергосистемой. Учитывая изолированность, необходимо учитывать обеспеченность района энергоресурсами, риски невостребованности мощности электростанции.

Представим систему воздействий электрической станции в виде взаимосвязанных подсистем однородных влияющих факторов. На рис. 1 представлен предлагаемый вариант декомпозиции системы, который можно рассматривать как модель анализа последствий ввода в работу тепловой электростанции (ТЭС) на угле в перспективном изолированном районе.

Прямоугольником отмечены целевые факторы, т.е. такие факторы, значения которых контролируется, окружностью – промежуточные факторы. Значения целевых факторов дают всю необходимую информацию о проблеме, исходя из ранее отмеченных особенностей.

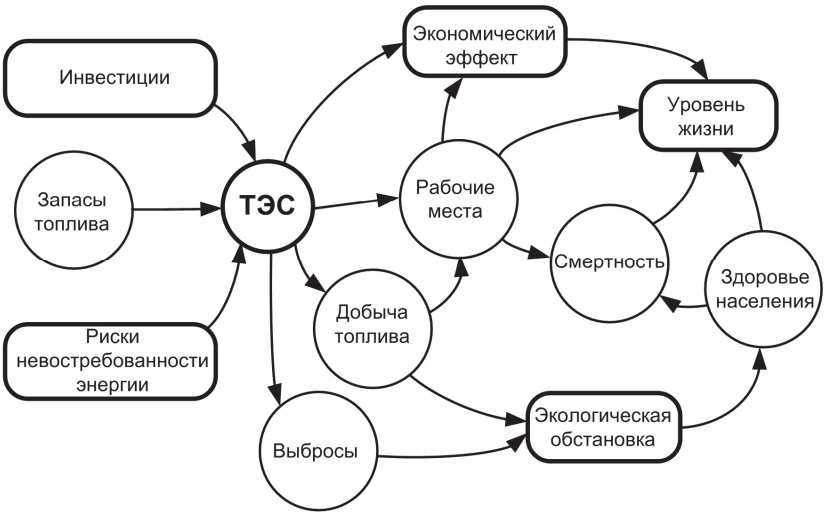


Рис. 1. Модель анализа последствий строительства ТЭС в изолированном районе

Каждый вариант установленной мощности электростанции «запускает» модель – определяет размер налоговых поступлений в бюджеты различных уровней, количество рабочих мест. Эти факторы влияют на целевой фактор «уровень жизни» и т.д. Таким образом, модель позволяет оценить последствия от реализации всех вариантов строительства ТЭС. Факторы «инвестиции», «запасы топлива», «риски невостребованности энергии» ограничивают диапазон возможных установленных мощностей ТЭС в районе. Эти факторы требуют предварительной работы экспертов, в задачу которых входит анализ источников финансирования, оценка возможных запасов топлива в районе.

Особенностью модели является сочетание хорошо и плохо формализуемых факторов, связей. Так, для оценки выбросов в атмосферу, экономических воздействий может применяться аппарат имитационного моделирования [2]. Для анализа влияния экологической обстановки на здоровье населения, влияния экономической

обстановки на уровень жизни потребуется применение подходов, позволяющих использовать преимущественно не количественную, а качественную информацию, аппарата теории нечетких множеств [3], когнитивного моделирования [4].

Авторами предлагается использовать нечеткий вывод для агрегации оценок воздействий разнородных факторов. Нечеткий вывод представляет собой преобразование входных переменных в выходные переменные на основе использования нечетких правил.

Рассмотрим процедуру агрегации промежуточных факторов подробно на примере влияния ТЭС на экологическую обстановку в районе. В качестве примера изолированного района рассмотрим Северо-Эвенский район Магаданской области. Моделирование проводится для ТЭС установленной мощностью 6-200 МВт. Для каждого значения из диапазона установленных мощностей производится выбор паровых котлов, турбин и генераторов ТЭС. На рис. 2 представлен детализированный фрагмент модели, описывающий экологическое воздействие ТЭС.

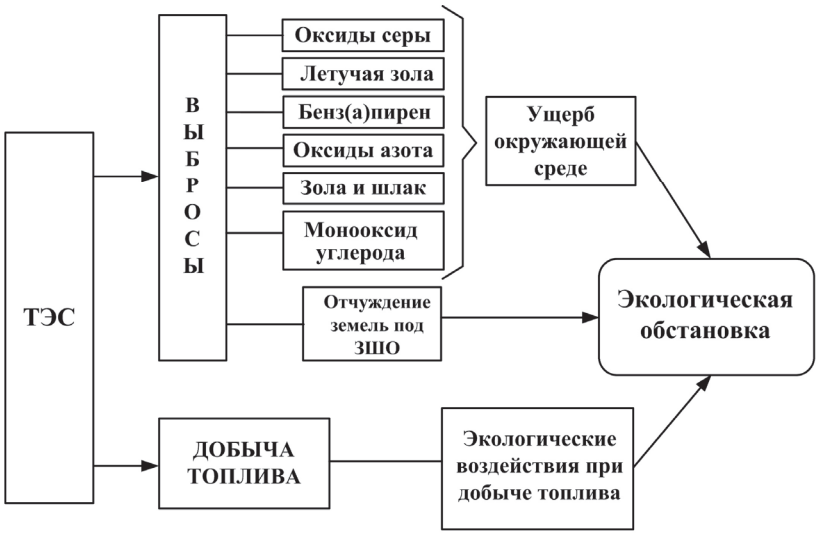


Рис. 2. Экологическое воздействие ТЭС

Целевой фактор «Экологическая обстановка» определяется двумя факторами «Выбросы» и «Добыча топлива» (рис. 1). Фактор «Выбросы» будет включать в себя набор основных загрязняющих веществ (экологическое влияние), а также площадь отчуждаемой земли под золошлакоотвал (ЗШО) (рис. 2). Отчуждение земли в непосредственной близости с населенным пунктом влияет на экологическую обстановку, общественное мнение.

Перед применением нечеткого вывода необходимо провести количественную, а при невозможности – качественную оценку воздействий в зависимости от мощности электрической станции.

В таблице приведены результаты расчета, согласно действующим нормативным документам, валовых выбросов: твердых частиц, оксидов серы, оксида азота, монооксида углерода, бенз(а)пирена, а также оценки площади отчуждения земли под ЗШО при сжигании бурых углей Чайбухинского месторождения [5].

Результаты моделирования экологических воздействий ТЭС

Установленная мощность, МВт	Расход топлива, т/год	Выбросы твердых частиц, т/год	Выбросы SO_2, т/год	Выбросы NO_2, т/год	Выбросы CO, т/год	Выбросы бенз(а)пирена, т/год	Отчуждение земли под ЗШО, га
6	94260,9	1361,46	1455,77	79,31	581,23	0,000211	5,2
12	196470,2	2800,00	3034,29	243,34	0,00	0,000439	10,5
16	257874,4	3724,63	3982,61	216,98	1590,10	0,000576	14,1
18	276772,8	3984,30	4274,48	283,51	1710,97	0,000618	15,1
20	335933,5	4787,57	5188,16	416,08	0,00	0,000750	18,1
24	392940,4	5600,00	6068,57	486,68	0,00	0,000878	21,2

Окончание таблицы

Установленная мощность, МВт	Расход топлива, т/год	Выбросы твердых частиц, т/год	Выбросы SO_2, т/год	Выбросы NO_2, т/год	Выбросы CO, т/год	Выбросы бенз(а)пирена, т/год	Отчуждение земли под ЗШО, га
30	461288,1	6640,50	7124,13	472,51	2851,62	0,001030	25,1
36	553545,7	7968,60	8548,96	567,02	3421,94	0,001236	30,2
42	687645,7	9800,01	10620,00	851,69	0,00	0,001536	37,1
48	708997,4	10206,42	10949,76	726,25	4382,92	0,001584	38,6
50	500025,7	7126,13	7722,40	841,04	0,00	0,001117	27
60	608031,3	8665,38	9390,43	1022,71	0,00	0,001358	32,8
70	625632,2	8916,22	9662,26	1052,31	0,00	0,001397	33,8
75	750038,6	10689,20	11583,60	1261,57	0,00	0,001675	40,5
80	704036,2	10033,59	10873,13	1184,19	0,00	0,001572	38
90	912046,9	12998,07	14085,65	1534,06	0,00	0,002037	49,2
100	846150,2	12058,94	13067,94	1410,79	0,00	0,001890	45,5
105	938448,2	13374,33	14493,39	1578,47	0,00	0,002096	50,6
120	1056054,3	15050,39	16309,70	1776,29	0,00	0,002359	56,8
125	1250064,2	17815,33	19305,99	2102,61	0,00	0,002792	67,4
140	1251264,3	17832,43	19324,53	2104,63	0,00	0,002795	67,5
150	1269225,3	18088,41	19601,92	2116,18	0,00	0,002835	68,5
160	1408072,4	20067,19	21746,27	2368,38	0,00	0,003145	76
175	1564080,4	22290,54	24155,66	2630,79	0,00	0,003493	84,4
200	1692300,4	24117,87	26135,89	2821,57	0,00	0,003780	91,2

Наиболее корректно учесть вклад такого количества разнообразных составляющих выбросов можно путем экономической оценки ущерба. На рис. 3 представлена зависимость ущерба, наносимого окружающей среде от установленной мощности ТЭС.

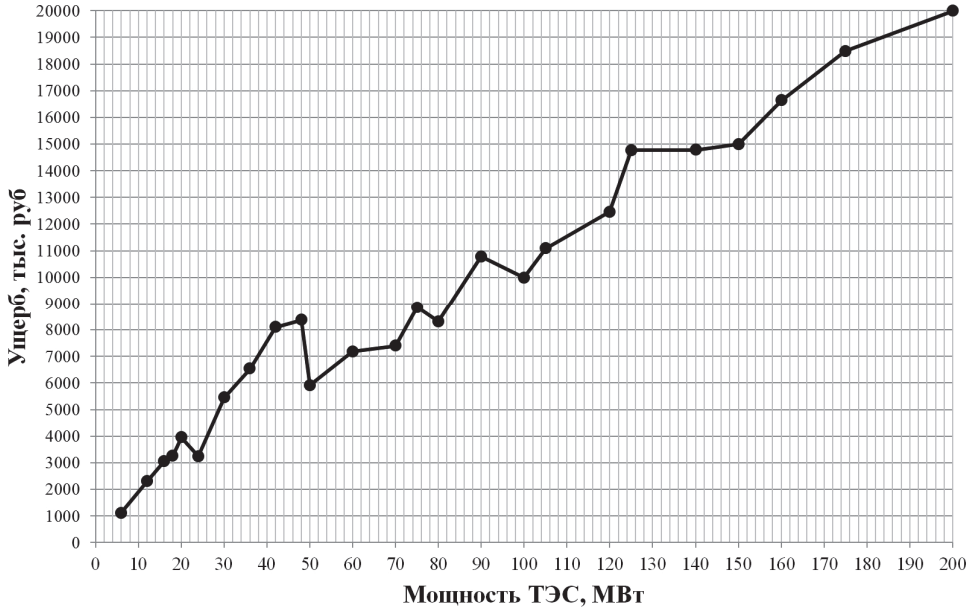


Рис. 3. Результаты экономической оценки ущерба окружающей среде от выбросов ТЭС

Перейдем к оценке воздействий второго промежуточный фактор – «Добыча топлива» (рис. 1). При добыче угля открытым способом негативное воздействие на экологическую об-

становку обусловлено проведением буровых, взрывных а также погрузочно-разгрузочных работ. Усложняет проблему оценки экологического воздействия предприятия угледобычи в неосвоенном удаленном районе высокая степени неопределенности в исходных данных. Одним из способов решение данной проблемы является качественная оценка воздействия экспертами («слабое», «сильное» и т.п.).

Таким образом, значения фактора «Экологическая обстановка» будут определяться тремя разнородными составляющими (см. рис. 2): ущербом окружающей среде (руб.), отчуждением земли под ЗШО (га) и экологическим воздействием при добыче топлива (качественная оценка).

В данном исследовании для агрегации воздействий предлагается использовать получивший широкое распространение алгоритм нечеткого вывода Мамдани. Для выполнения процедуры нечеткого вывода необходимо представить входные и выходные переменные в виде лингвистических переменных. Так, каждую входную переменную можно представить в виде кортежа: <β, T, X>, где β – название лингвистической переменной; T – базовое термножество лингвистической переменной, каждое из которых представляет собой наименование отдельной нечеткой переменной α; X – область определения нечетких переменных. Входные переменные были представлены в виде лингвистических: «Ущерб» – T={«минимальный», «выше минимального», «средний», «выше среднего», «максимальный»}, X=[0-20]; «Отчуждение земли» – T={«малое», «среднее», «большое»}, X=[0-91,2]; «Добыча топлива» – T={«малая», «средняя», «большая»}, X=[0-1692,3]. Выходная переменная «Экологическая обстановка» была также представлена в виде лингвистической переменной: T={«0», «0,1», «0,2»,… «1»}, X=[0-1], т.е. выходная лингвистическая переменная по своей сути является нечеткой искусственной шкалой.

На рис. 4-7 представлены графики функций принадлежности термов входных и выходной лингвистических переменных.

Рис. 4. Графики функций принадлежности термов входной лингвистической переменной «Ущерб окружающей среде»

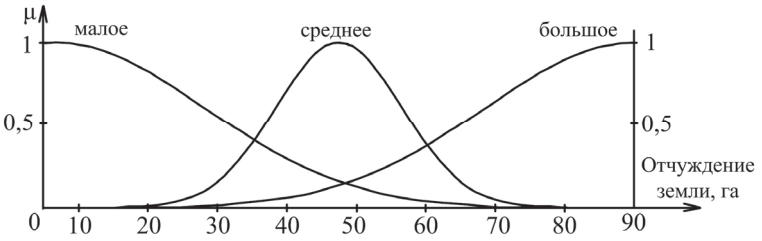


Рис. 5. Графики функций принадлежности термов входной лингвистической переменной «Отчуждение земли»

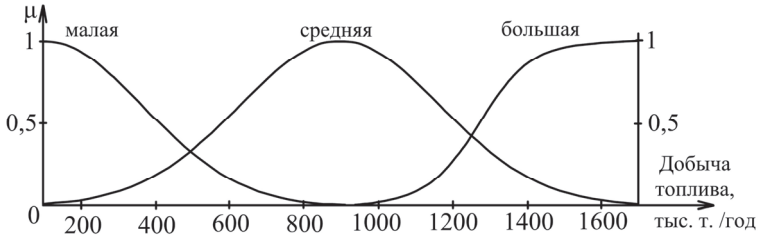


Рис. 6. Графики функций принадлежности термов входной лингвистической переменной «Добыча топлива»

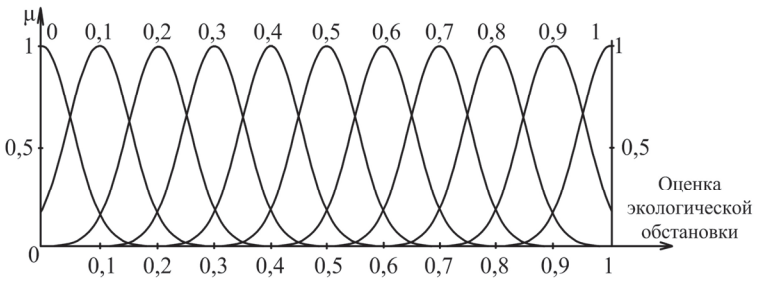


Рис. 7. Графики функций принадлежности термов выходной лингвистической переменной «Экологическая обстановка»

База правил нечеткой продукции системы нечеткого вывода представлена на рис. 8. Проводятся известные процедуры фаззификации, агрегирования, активации, аккумуляции и дефаззификации [3]. В результате получены оценки экологической обстановки для каждого варианта мощности ТЭС. На рис. 9 представлены результаты нечеткого вывода в виде зависимости значений фактора «Экологическая обстановка» от установленной мощности ТЭС.

1. If (Ущерб is минимальный) and (Отчуждение_земли is малое) and (Добыча_топлива is малая) then (Экологическая_обстановка is 0,9) (1)
2. If (Ущерб is минимальный) and (Отчуждение_земли is среднее) and (Добыча_топлива is малая) then (Экологическая_обстановка is 0,9) (1)
3. If (Ущерб is минимальный) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is малая) then (Экологическая_обстановка is 0,8) (1)
4. If (Ущерб is минимальный) and (Отчуждение_земли is малое) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,8) (1)
5. If (Ущерб is минимальный) and (Отчуждение_земли is малое) and (Добыча_топлива is большая) then (Экологическая_обстановка is 0,8) (1)
6. If (Ущерб is выше_минимального) and (Отчуждение_земли is малое) and (Добыча_топлива is малая) then (Экологическая_обстановка is 0,8) (1)
7. If (Ущерб is выше_минимального) and (Отчуждение_земли is среднее) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,7) (1)
8. If (Ущерб is выше_минимального) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is большая) then (Экологическая_обстановка is0,7) (1)
9. If (Ущерб is средний) and (Отчуждение_земли is среднее) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,6) (1)
10. If (Ущерб is средний) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,6) (1)
11. If (Ущерб is средний) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is большое) then (Экологическая_обстановка is 0,5) (1)
12. If (Ущерб is выше_среднего) and (Отчуждение_земли is среднее) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,4) (1)
13. If (Ущерб is выше_среднего) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,4) (1)
14. If (Ущерб is выше_среднего) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_большая is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,3) (1)
15. If (Ущерб is максимальный) and (Отчуждение_земли is среднее) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,2) (1)
16. If (Ущерб is максимальный) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is средняя) then (Экологическая_обстановка is 0,1) (1)
17. If (Ущерб is максимальный) and (Отчуждение_земли is большое) and (Добыча_топлива is большая) then (Экологическая_обстановка is 0,1) (1)

Рис. 8. База правил нечеткой продукции системы нечеткого вывода

Анализ зависимости (рис. 9) показывает, что она являются практическим зеркальным отображением зависимости, представленной на рис. 3, т. е. высоким значениям ущерба соответствуют низкие значения фактора «Экологическая обстановка». Отличия этих зависимостей обусловлены влиянием факторов «Добыча топлива» и «Отчуждение земли».

Таким образом, можно утверждать, что процедура нечеткого вывода позволяет адекватно провести агрегацию воздействий, описываемых количественными и качественными оценками.

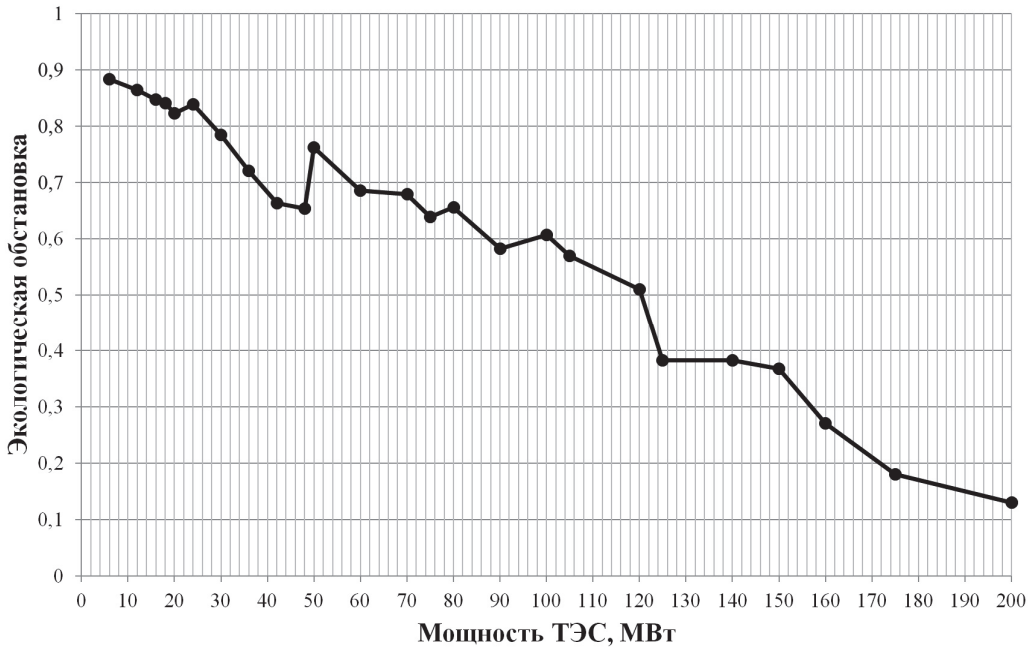


Рис. 9. Результаты нечеткого вывода

Аналогичным образом можно получить значения остальных целевых факторов (см. рис 1).

Рассмотрение проблемы развития генерирующих мощностей как системы, позволяет выявить структуру данной проблемы, определить взаимовлияния факторов, сформулировать набор альтернативных вариантов.

Представленная модель позволяет получить для каждого альтернативного варианта значения целевых факторов, т.е. оценки по основным критериям альтернативы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кини, Р.* Размещение энергетических объектов: выбор решений. Пер. с англ / Р. Кини. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

2. *Кобелев, Н.Б.* Основы имитационного моделирования сложных экономических систем / Н.Б. Кобелев. – М.: Дело, 2003. – 336 с.

3. *Леоненков, А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: Издательство БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

4. *Горелова, Г.В.* Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход / Г.В. Горелова, Е.Н. Захарова, С.А. Радченко. – Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2006. – 332 с.

5. *Фадеев В.А.* Модель последствий строительства тепловой электростанции в изолированном районе / В.А. Фадеев, В.А. Шакиров // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – №2 (18). – С. 53-58.

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 519.2+681.3

Ю. М. Брумштейн

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ И МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ПОДГОТОВКОЙ И ОПУБЛИКОВАНИЕМ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Астраханский государственный университет

brum2003@mail.ru

Показана важность подготовки и опубликования научных статей (НС) для формирования интеллектуальных ресурсов общества, развития социально-экономических систем. Охарактеризовано понятие «научного сообщества». Показаны причины его заинтересованности в публикациях НС. Рассмотрены вопросы мотивации публикационной активности и возможности управления потоками публикаций. С позиций авторов НС проанализированы основные факторы и модели оптимального выбора состава подготавливаемых НС, журналов для их опубликования.

Ключевые слова: научные статьи, авторы, создание, мотивация, выбор журнала, принятие решений, анализ рисков, математические модели.

Ju. M. Brumshteyn

FACTORS AND MODELS ANALYSIS OF DECISION-MAKING, CONNECTED WITH PREPARATION AND PUBLICATION OF SCIENTIFIC ARTICLES

Astrakhan State University

Importance of preparation and publication of scientific articles (SA) for formation of society intellectual resources, development of social and economic systems is shown. The «scientific community» concept is characterized. The reasons of its interest in SA publications are shown. Questions of publication activity motivation and possibilities of management for publications flows are considered. In article from positions of SA authors are analyzed major factors and models for optimum choice of structure for prepared SA, magazines for their publication

Keywords: scientific articles, authors, creation, motivation, magazine choice, decision-making, risk analysis, mathematical models.

В условиях развития «экономики основанной на знаниях», подготовка и опубликование (ПиО) научных статей (НС) - одно из важнейших направлений формирования интеллектуальных ресурсов общества/стран, обеспечения их доступности для физических лиц/организаций и, как следствие, создание условий для успешного социально-экономического развития стран, отраслей, регионов. Однако некоторые вопросы формализации принятия и реализации решений, связанных с ПиО НС, остаются исследованными недостаточно полно. В данной статье ставилась цель частично устранить этот пробел за счет анализа факторов, учитываемых при принятии решений о ПиО НС; разработки математических «моделей поведения» научных сообществ и авторов статей. «Модели поведения» редакций научных журналов (НЖ) и рецензентов будут рассмотрены в другой работе.

Под термином «научное сообщество» [4] мы будем понимать совокупность лиц, профессионально занимающихся научной деятельностью и участвующих в информационном обмене по крайней мере по «своим» направлениям исследований. Можно говорить об интернациональных, национальных, региональных, отраслевых научных сообществах. Основными «информационными факторами», обеспечивающими формирование/развитие научных сообществ можно считать: издание НЖ; обеспечение их доступности для заинтересованных лиц и организаций; проведение научных конференций, симпозиумов, семинаров и пр.; опубликование материалов таких мероприятий; личное общение ученых – очное и дистанционное (онлайновое и офлайновое). Укажем факторы, связанные с развитием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), влияю-

щие на процессы ПиО НС: резкое снижение трудоемкости подготовки НС авторами за счет использования ПЭВМ для набора/корректировки текстов, создания иллюстраций и иных целей [6], проведения вычислительных экспериментов и пр.; сокращение сроков обмена информацией между авторами и редакциями; для многих направлений исследований – интернационализация научной деятельности; доступность значительной части текстов ранее опубликованных НС, информационных материалов и пр. в электронной форме через Интернет; возможность использования авторами мощных средств поиска информации в Интернете (однако здесь есть и специфические проблемы, в т.ч. связанные с «идентификацией» авторов НС [11]); возможности дистанционного проведения конференций, вебинаров и пр. в реальном времени на основе систем аудиовидеосвязи через Интернет. «Инновации» в отношении технологий опубликования НС: рост количества «электронных НЖ»; использование авторами «электронных депозитариев НС» (однако качество помещаемых в них материалов если вообще контролируется, то значительно слабее, чем в НЖ); издание печатных сборников тезисов/статей конференций с приложением CD-дисков, в т.ч. с высококачественной графикой, презентациями докладов, видеороликами (для НЖ использование CD пока не характерно); оперативное размещение материалов и даже видеозаписей некоторых конференций в Интернете.

Интенсификация информационных и иных взаимосвязей между отдельными учеными, их объединениями (в т.ч. и не формальными – например, в виде «профессиональных социальных сетей» в Интернете [8]), научными организациями и пр. увеличила возможности «саморегулирования» и «саморазвития» интернационального и национальных научных сообществ (ННС); участия их в выборе приоритетных направлений исследований; управлении структурой и уровнями требований НЖ; оценках их рейтингов; определении значимости вкладов организаций и исследователей в развитие науки [7,9,12]; поддержке качества публикуемых НС [4].

Одновременно с «саморегулированием» во многих странах применяются меры прямого или косвенного государственного управления (ГУ) научной деятельностью, поддержки приоритетных научных направлений, работы молодых исследователей. По крайней мере в России, меры ГУ в значительной степени отражают позицию той части ННС, которая заинтересована в развитии полезных для общества научных исследований. Такие меры касаются, в частности, поддержки деятельности Российского Индекса Научного Цитирования (РИНЦ); правил защит диссертаций; наличия у диссертантов необходимого количества публикаций в ВАКовских НЖ; открытия новых НЖ; изменения категорий существующих НЖ и пр. Количество и «качество» публикаций в НЖ учитываются при определении зарплат/премий ученым, присуждении ученых званий [3], избраниях на должности по конкурсу, предоставлении грантов и пр. Поэтому ПиО НС для исследователей нужны и субъективно, и объективно [1,10]. Присоединение России к Болонскому процессу [5] и изменение требований ВАКа к диссертациям уже начинают оказывать влияние на приоритеты деятельности авторов, прежде всего работающих в вузах.

Научное сообщество заинтересовано в тематической структуризации (ТС) потока НС для улучшения их доступности; обеспечении качества (в т.ч. исключении плагиата) и полноты охвата направлений исследований. Издание НЖ как раз и призвано обеспечить решение этих задач. Наращивание числа публикаций несущих мало новой информации (или не несущих ее вообще), снижает доступность полезных НС для потенциальных потребителей, ухудшает условия принятия и реализации решений отдельными учеными; органами контроля и управления научной деятельностью, присуждения ученых степеней и званий, аттестации персонала. Появление в НЖ статей с плагиатом наносит вред исследователям и репутации журналов, является нарушением их информационной безопасности [2].

Простейшую математическую модель оценки полезности обществу потока НС по ***k***-ому направлению исследований (Ω_k) представим в виде

$$\Omega_k = \left(\sum_{i=1}^{I^{(k)}} d_i^{(k)} (P_i^{(k)} - N_i^{(k)}) \right) - \lambda^{(k)} \left(\left| I^{(k)} - I_{opt}^{(k)} \right| \right) / I_{opt}^{K)} \quad (1)$$

где $I^{(k)}$ - количество новых НС за год по ***k***-ому направлению (может быть оценено с использованием, например, статистической подсистемы в РИНЦ и/или иных системах учета/анализа публикаций); ***i*** - индекс статьи; $d_i^{(k)}$ - коэффициент доступности ***i***-ой статьи по ***k***-ому направлению ($0 \le d_i^{(k)} \le 1$); с позиций общества $P_i^{(k)}$,

$N_i^{(k)}$ - это позитивные и негативные эффекты от публикации ***i***-ой НС, соответствующие ее полной доступности, т.е. $d_i^{(k)} = 0$; $I_{opt}^{(k)}$ - оптимальное количество для потока публикаций по ***k***-ому направлению; $\lambda^{(k)}$ - коэффициент, определяющей значимость различий $I^{(k)}$ и $I_{opt}^{(k)}$. Для $I_{opt}^{(k)}$ и $\lambda^{(k)}$ предполагаются экспертные оценки, причем мы имеем в виду объективно необходимое для общества (страны) $I_{opt}^{(k)}$, а не субъективно желательное для заинтересованных групп авторов. Эта модель носит «оперативный» характер, в ней ранее опубликованные НС и иные материалы могут быть учтены косвенно – через значения $\left\{P_i^{(k)}; N_i^{(k)}\right\}_{i=1...I^{(k)}}$. Доступность НС определяется наличием ее текста в Интернете в свободном доступе; стоимостью и длительностью платного получения копии НС; «языковыми барьерами»; тиражами НЖ; качеством (полнотой) отражения НС в системах учета публикаций и цитирований и пр. При этом считается, что «цитируемость» НС отражает ее востребованность научным сообществом.

Более сложные по сравнению с (1) модели нуждаются в отдельном рассмотрении, вне рамок настоящей статьи. В них, в частности, могут быть учтены: объемы уже накопленных интеллектуальных ресурсов по отдельным направлениям (с учетом «морального старения» знаний, по мере появления новых НС; изменения значимости опубликованных НС при изменении социально-экономических ситуаций и пр.); изменения доступности НС со временем по мере развития ИКТ, передачи НС в открытый доступ и пр.); изменения уровней компетентности (квалификации) исследователей, средств ИКТ-поддержки работы с НС на иностранных языках – это может влиять на «возможности восприятия» НС потенциальными авторами.

В простейшем случае в (1) можно принять

$$\lambda^{(k)} = \begin{cases} \lambda_+^{(k)} __ при __ I_{opt}^{(k)} \geq I_{opt}^{(k)} \\ \lambda_-^{(k)} __ при __ I_{opt}^{(k)} \leq I_{opt}^{(k)} \end{cases} \qquad (2)$$

однако обычно зависимости $\lambda^{(k)} = \Phi\left(\left|I_{opt}^{(k)} \geq I_{opt}^{(k)}\right|\right)$ нелинейны, в т.ч. с $\lambda^{(k)} \approx 0$ при небольших отличиях между $I^{(k)}$ и $I_{opt}^{(k)}$. Продуктивно усреднение оценок для НС ***k***-ого направления по их доступности ($D^{(k)}$) и разницы между положительным и отрицательным эффектами ($R^{(k)}$) – она определяется, в основном, качеством НС, в меньшей степени их объемом. Тогда вместо (1)

$$\Omega_k = I^{(k)} D^{(k)} R^{(k)} - \lambda^{(k)} \left(\left|I^{(k)} - I_{opt}^{(k)}\right|\right) / I_{opt}^{(\kappa)} \qquad (3)$$

При учете «политематичности» НС, т.е. возможности отражения в них более чем одного направления исследований, вместо (1) получим

$$\Omega_k = \left(\sum_{i=1}^{I^{(k)}} \omega_i^{(k)} d_i^{(k)} (P_i^{(k)} - N_i^{(k)})\right) - \\ -\lambda^{(k)} \left(\left|\bar{\omega}^{(k)} I^{(k)} - I_{opt}^{(k)}\right|\right) / I_{opt}^{(\kappa)} \qquad (4)$$

где для ***k***-ого направления: $\omega_i^{(k)}$ - «доля» (степень соответствия) **i**-ой публикации ***k***-ому направлению; $\bar{\omega}^{(k)}$ - средняя «доля» по всем НС. Тогда

$$\Omega_k = \bar{\omega}^{(k)} I^{(k)} D^{(k)} R^{(k)} - \lambda^{(k)} \left(\left|\bar{\omega}^{(k)} I^{(k)} - I_{opt}^{(k)}\right|\right) / I_{opt}^{(k)} \qquad (5)$$

Исходя из (5) для потока НС «в целом» можно принять

$$\Omega^{(\Sigma)} = \sum_{k=1}^{K} \Omega_k \qquad (6)$$

где «***K***» - общее количество учитываемых направлений публикаций.

Управление количеством/качеством НС в НЖ по отдельным направлениям возможно за счет решений/мер принимаемых на уровне государства и/или издающих НЖ организаций (вузов, НИИ и пр.). Этим меры могут включать в себя: открытие/закрытие НЖ, в т.ч. в России с использованием «инструмента лицензирования»; изменения категорий (статусов) НЖ; корректировки политики оплаты НС в НЖ; изменение допустимых объемов НЖ, количества/периодичностей их выпусков, составов тематических рубрик; корректировки минимальных и максимальных размеров статей, принимаемых редакциями НЖ; изменение требований к графическим материалам, объемам/точности использованных экспериментальных данных; управление уровнями мотивации авторов [10] - в т.ч. за счет политики стимулирования публикаций по отдельным направлениям, правил присуждения ученых степеней, званий и пр.; мониторинга и управления импакт-факторами НЖ, в т.ч. с учетом «НЖ-конкурентов» по тематике НС.

Количество и качество НС, фактически публикуемых в отдельных НЖ, определяется такими взаимосвязанными факторами. (1) Уро-

вень требований редакций НЖ к публикуемым НС, в т.ч. в отношении новизны, актуальности, удобочитаемости. (2) Качество первоначально поступающих НС, на которое влияет научная репутация журнала, его импакт-фактор, уровень требований, стоимость публикаций. (3) Политикой редакций НЖ в отношении доработок НС авторами по замечаниям рецензентов. (3) Для большинства НЖ - соотношением количеств НС, присылаемых авторами и необходимых (требуемых) количеств для выпуска очередных номеров (4) Вероятной длительностью ожидания в очереди на опубликование в НЖ.

Рассмотрим «модели выбора» авторов. В России для них критически важными могут быть: публикации в разных НЖ; длительность рецензирования НС; время ожидания в очереди на опубликование; «категория» издания: (**а**) не ВАКовское и не отражаемое в РИНЦ; (**б**) не ВАКовское, но отражаемое в РИНЦ; (**в**) русскоязычное ВАКовское - их в России сейчас более 2 тысяч; (**г**) издания, отражаемые в Scopus и/или Web of Science. Отметим, что по отдельным отраслям и/или направлениям исследований авторитетными являются и иные системы учета публикаций/цитирований, но ВАКом учитываются лишь Scopus и Web of Science.

Количество русскоязычных ВАКовских журналов, соответствующих категории «**г**» на 1.09.2013 составляло всего несколько десятков, в то время как зарубежных НЖ – много тысяч. Однако, зарубежные НЖ в отношении опубликования НС для большинства Российских авторов малодоступны по таким причинам: слабое знание номенклатуры таких НЖ, особенно «широкого профиля»; «языковый барьер»; «неизвестность» Российских авторов для редакций зарубежных НЖ и рецензентов, в т.ч. и из-за отсутствия учета их русскоязычных НС в зарубежных системах цитирования; специфика некоторых Российских реалий по сравнению с зарубежными (для НС по естественным наукам, математике и пр. такой специфики нет); часто – большая длительность ожидания опубликования; в ряде случаев – высокая стоимость публикаций в престижных НЖ (некоторые организации в России, включая ряд вузов, уже начали компенсировать авторам такие расходы - путем денежных выплат после опубликования их НС).

Переходим к рассмотрению математических моделей. Примем такие допущения. (**д1**) Автор располагает объемами ресурсов $\{Q_n\}_{n=1...N}$, которые могут быть использованы для подготовки и опубликования статей, где N – количество учитываемых видов ресурсов - прежде всего, времени и денег. (**д2**) Автор потенциально может подготовить и отправить «M» НС, каждая из которых требует фактических затрат ресурсов, описываемых матрицей $\left[Z_{m,j}\right]_{m=1...M,\,j=1...J}$, где «$J$» - общее количество журналов, в которые могут направляться НС. Для простоты примем, что в $[Z]$ учтены трудоемкости доработок НС по требованиям редакций НЖ. При этом суммарные затраты ресурсов по совокупности выбранных пар «НС-НЖ» не могут превышать указанных в пункте «д2». Альтернативой таких «барьерных ограничений» может быть использование «штрафных функций» для учета превышений доступности ресурсов – однако это требует обоснованного задания функций штрафа. (**д3**) Матрица $\left[W_{m,j}\right]_{m=1...M,\,j=1...J}$ описывает вероятности приема этих НС журналами. «Непрофильности» НС для отдельных НЖ учтем заданием нулевых значений в матрице $[W]$. (**д4**) «Полезности» фактического опубликования НС для автора определяются матрицей $\left[U_{m,j}\right]_{m=1...M,\,j=1...J}$ - для простоты примем, что эти «полезности» взаимно независимы. (**д5**) Также примем, что автор не может отправлять одни и те же статьи в разные НЖ.

Оптимальное для автора решение определяется прямоугольной «бинарной» матрицей $\left[\Theta_{j,m}\right]_{m=1...M,\,j=1...J}$. В ней в одной строке может быть не более одной «**1**» (одна статья направляется в один НЖ); в одном столбце могут быть все «**0**» (в этот НЖ НС не направляются), единственная «**1**» (направляется одна НС), более одной «**1**» (в НЖ направляется две или более НС – если правила журнала допускают опубликование двух НС одного автора в номере или автора по срокам устраивают публикации в последовательных номерах). Критерий оптимальности решения можно принять как

$$\Psi = \max\left(\sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{Y}\left[Y_{m,j}\right]\right); \qquad (7)$$

$$\left[Y_{m,j}\right] = \left[\Theta_{m,j}\right]\left[W_{m,j}\right]\left[U_{m,j}\right] \qquad (8)$$

Значения коэффициентов в (8) находятся «поэлементным» умножением, а не по правилу матричного умножения типа «строка на столбец». Подчеркнем два обстоятельства. (*1*) Количество выбранных для подготовки/отправки

НС (обозначим его как «***F***»), может быть разным в зависимости от набора сочетаний «НС-НЖ». (***2***) Модель выбора на основе формул (7),(8) является «линейной» и не учитывает изменение «полезности» НС в зависимости от их количества. Например, превышение «критических» значений при подготовках к защитам кандидатских и докторских диссертаций может значительно снижать заинтересованность авторов. Ограничения на ресурсы для совокупности из «***F***» сочетаний «НС-НЖ» определяются

$$\left\{\sum_{f=1}^{F}\left[T^{*}_{f,\mathrm{n}}\right]\le Q_{\mathrm{n}}\right\}_{\mathrm{n}=1\ldots N} \qquad (9)$$

где $F \le M$, а «*» для $\left[T^{*}\right]$ означает, что берется «подматрица» полной матрицы, соответствующая только строкам $\left[\Theta\right]$, где есть элементы «**1**». Дополнительно целесообразно ограничивать «средний риск» выбора в виде

$$(\sum_{f=1}^{F} V_f)/F \le V^{*} \qquad (10)$$

где $\left\{V_f\right\}_{f=1\ldots F}$ - вектор вероятностей отказа в принятии НС редакциями НЖ для выбранных вариантов «НС – НЖ». Также могут ограничиваться риски отправок НС в отдельные НЖ, причем дифференцированно – с учетом «авторитетности» НЖ

$$\left\{V_f \le V_f^{**}\right\}_{f=1\ldots F} \qquad (11)$$

При относительно небольших величинах ***E=M*J*** оптимальный набор сочетаний «НС-НЖ» может быть достигнут «сплошным перебором» всех возможных вариантов с отбраковкой их по описанным выше ограничениям (см. выше). Однако если «***E***» велико, то целесообразно использовать «последовательный отбор» пар «НС-НЖ» - в порядке убывания элементов матрицы

$$\left[X\right]=\left[U\right]\left[W\right] \qquad (13)$$

(полученной поэлементным умножением матриц в правой части (13) - при соблюдении указанных выше ограничений. В некоторых случаях может быть оправданным использование и генетических алгоритмов.

Если у НС несколько соавторов с разными «матрицами полезностей» $\left[U\right]$, то постановка задачи оптимизации выбора становится значительно более громоздкой, т.к. приходится учитывать различия в предпочтениях соавторов, их «степенях влияния» на выбор пар «НС-НЖ» и пр.

Итак, **выводы**. **1.** Управление тематической направленностью, количеством и качеством публикуемых в НЖ статей в России сейчас осуществляться не только «издателями» журналов, но и на государственном уровне. **2.** Для развитых стран влияние государства на «публикационную политику» обычно минимально, хотя иногда поддерживаются публикации на национальных языках. **3.** Между большинством НЖ (кроме некоторых узкотематических) в России и мире, существует определенная конкуренция за актуальные НС хорошего качества, которые смогут обеспечить высокие импакт-факторы журналов. 4. Выбор авторами НЖ для публикации НС обычно осуществляется в две стадии: отбраковка принципиально «недопустимых вариантов» (например, по срокам опубликования, категории НЖ и пр.); выбор наилучшего набора сочетаний «НС-НЖ» из числа приемлемых вариантов. 5. При принятии решений, связанных ПиО НС, могут использоваться математические модели. Их практическая полезность во многом определяется точностями оценок используемых в них параметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Брумштейн Ю.М.* Научные статьи: анализ мотивации создания и технологий опубликования с позиций авторского права //Интеллектуальная собственность. Авторское право и смежные права. –2011 – № 4. –СС. 18–31.

2. *Брумштейн Ю. М., Петрова И. Ю., Попова Ю. Н.* Научная деятельность в региональных вузах: анализ вопросов информационной безопасности //Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Выпуск 14– №10(97)–2012– С.113–120

3. *Брумштейн Ю. М., Горюнова Т. А., Пугина Н. Н.* Анализ методов и математических моделей обеспечения вуза кадрами высшей квалификации... // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Выпуск 9– №11(71)–2010– С.81–84

4. *Бурганова Т.А.* Экспертная оценка – механизм поддержания качества научной публикации, требуемый научным сообществом //Вестник экономики, права и социологии. –2013.– № 2. –С.200–202.

5. *Кожевникова Н. Ю.* Влияние Болонского процесса на преобразование учебных бизнес-процессов и распределение ресурсов вуза //Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Выпуск 9– №11(71)–2010– С.98–102

6. *Маслов В.И., Седлер М.И., Степанова В.А.* Разработк PLM – системы подготовки научных статей к публикации //Современное машиностроение. Наука и образование. –2013. –№ 3. –С.481–490.

7. *Маркусова В.А., Крылова Т.А., Либкинд А.Н., Зиновьева И.В., Миндели Л.Э.* Библиометрические показатели федеральных и национальных университетов России

по по БД WEB of Science //Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы. –2013. –№ 2. – С. 24–37.

8. *Мельникова Н.И.* Научные социальные сетевые сервисы как средство дифференциации и интеграции научного сообщества //Вестник Саратовского государственного технического университета. –2013. – Т. 1. № 1. – С. 255–260.

9. *Разумова И.К.* Государственные проекты информационного обеспечения научной и образовательной деятельности. Динамика публикационной активности Российских ученых. //Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. –2011. –№ 3. – С. 105–109.

10. *Рощина Н.В.* Научная периодика сегодня: виды статей, цели публикаций и мотивации авторов //Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. –2010. –№ 3.– С. 136–144

11.*Умаров А.С., Попова Н.В., Зелепухина В.А.* Некоторые аспекты создания информационных систем для сбора и хранения научной и наукометрической информации // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии – 2013–№3–С.111–118

12. *Юмашева Е.И., Козлова И.В.* Публикационные показатели как зеркало реформирования Российской науки //Строительные материалы. –2013. –№ 9. –С. 66–69.

УДК 62-50

А. А. Кобзев, А. А. Махфуз

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЧЕТВЕРТОЙ ФОРМЫ ИНВАРИАНТНОСТИ В СИСТЕМАХ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых

kobzev42@mail.ru

В статье представлена реализация коррекции программного движения на основе четвертой формы инвариантности и применение управления в мехатронных, робототехнических и других технологических системах.

Ключевые слова: система управления, инвариантность, модификация, алгоритм.

A. A. Kobzev, A. A. Mahfouz

FEATURES OF REALIZATION OF THE FOURTH FORM OF INVARIANCY IN SYSTEMS OF PROGRAMMED CONTROL

Vladimir State University of A. G. and N. G. Stoletovs

Realization of correction of program movement is presented in article on the basis of the fourth form of invariancy and management application in mekhatronny, robotic and other technological systems.

Keywords: control system, invariancy, modification, algorithm.

Возрастающие требования по точности выполнения технологических процессов в машиностроении в свою очередь приводят к повышению требований к точности систем управления. Выделим характерные технологически процессы, выполняемые по некоторой заранее заданной или неопределенной траектории с обеспечением требуемого вектора усилия при внешних флуктуирующих возмущениях. Характерными процессами управления для таких систем являются операции сопряжения двух деталей, выполняемых роботами по сопрягающей траектории с заданным усилием, управление приводами в станках с ЧПУ и др. В конечном итоге необходимо движение по заданной траектории с одновременным выполнением технологического процесса.

Наряду с известными для этих целей методами построения систем управления, основанных на введении в прямой контур или в цепи обратных связей корректирующих звеньев или использования нелинейной коррекции, применяется комбинированное управление. В последнем случае управление основано на положениях теории инвариантности, как правило, состоящее в реализации второй формы инвариантности. По сравнению с другими методами коррекции введение инвариантных входов повышает точность не изменяя свойств замкнутого контура системы. Для обозначенного класса технологических процессов и систем управления возможно построение систем на основе четвертой формы инвариантности, имеющих по сравнению с другими ряд преимуществ [1].

Обратимся к типовой структуре линейной системы с передаточными функциями разомкнутой системы по управляющему $g(p)$ и возмущающему $f(p)$ воздействиям соответственно $W(p)$, $V(p)$ [2]. Рассматриваем процесс движения установившимся, т.е. составляющие, определяемые начальными условиями равны нулю. Ошибка системы $\delta(p)$ с учетом принципа суперпозиции, справедливого для линейных систем определяется

$$\delta(p) = \frac{1}{1+W(p)} g(p) + \frac{V(p)}{1+W(p)} f(p). \qquad (1)$$

где $W(p)=\frac{A(p)}{B(p)}$; $V(p)=\frac{C(p)}{D(p)}$.

Выражение для ошибки $\delta(p)$, если представить передаточные функции, входящие в уравнение (1) в виде соответствующих полиномов и с учетом обозначения $C(p)/D(p)=C_d(p)$ будет

$$\delta(p)=\frac{B(p)}{A(p)+B(p)}g(p)+\frac{B(p)Cd(p)}{A(p)+B(p)}f(p)$$

или в строчной форме записи

$$H(p)\delta(p)=B(p)g(p)+L(p)f(p), \qquad (2)$$

где $H(p)=A(p)+B(p)$; $L(p)=B(p)+C_d(p)$

Принцип инвариантности для ошибки $\delta(p)$ по отношению к $g(p)$ и $f(p)$ сводится к обеспечению равенства нулю правой части уравнения (2), то есть

$$B(p)g(p)+L(p)f(p)=0. \qquad (3)$$

Выполнение условия (3) возможно в нескольких вариантах. Для системы (2) они записываются в виде так называемых четырех форм инвариантности [5]. Универсальной является вторая форма, определяемая уравнениями. Однако она требует получения *n* производных, где *n* порядок системы, что при их числе более двух трудно реализуется. Большими возможностями для систем программного управления и следящих систем с медленно изменяющимися параметрами входного и возмущающего воздействий обладает четвертая форма инвариантности. Рассмотрим этот вопрос в следующей постановке. Имеется система с номинальными управлением $g_0(p)$ и возмущением на выходе $f_0(p)$. Последнее обусловлено создаваемым на выходе силовым воздействием при выполнении технологического процесса. По различным технологическим факторам имеется отклонение фактического усилия от расчетного на величину $\Delta f(p)$. Необходимо ошибку, обусловленную составляющей $\Delta f(p)$, скомпенсировать дополнительным управлением $\Delta g(p)$. Иначе, имеем функции управления и возмущения в виде

$$g(p)=g_0(p)+\Delta g(p); \quad f(p)=f_0(p)+\Delta f(p).$$

Для компенсации дополнительного возмущения условие четвертой формы инвариантности определяется согласно уравнения (3), которое здесь запишется как

$$B_2(p)\Delta g(p)+L(p)\Delta f(p)=0. \qquad (4)$$

Отметим принципиальное отличие соотношения (4) от (3). Классическая трактовка четвертой формы инвариантности предусматривает введение дополнительной составляющей в управлении для каждого канала по своему воздействию: для управляющего воздействия - в функции воздействия $g(p)$, для возмущающего воздействия - в функции возмущающего воздействия $f(p)$. Здесь же, для парирования возмущения $\Delta f(p)$ вводится дополнительная составляющая в управляющее воздействие в виде $\Delta g(p)$. Назовем такой вариант организации управления как *модификацию четвертой формы инвариантности.* Выполнение условий *модифицированной четвертой формы инвариантности* для компенсации $\Delta f(p)$ возможно в следующих вариантах:

1) формированием дополнительного полинома $B_2(p)$ при выбранном $\Delta g(p)$;

2) формированием дополнительного управления $\Delta g(p)$ при выбранном $B_2(p)$;

3) выбором произведения $B_2(p)\Delta g(p)$.

С позиции технической реализации целесообразно вводить дополнительное управление, которое при выбранной функции $B_2(p)$ определяется из условия

$$\Delta g(p)=\frac{L(p)\Delta f(p)}{B_2(p)}.$$

Наибольший интерес представляет применение четвертой формы инвариантности, когда дополнительное управление вводится с целью:

1) парирования нелинейностей и нежелательных характеристик механической передачи (все виды редукторных приводов);

2) адаптации программной траектории к фактической технологической, несовпадающей с ней по различным технологическим факторам (промышленные роботы и др.);

3) строгого движения исполнительного органа по заданной траектории (станки с ЧПУ, системы слежения за подвижными объектами (РЛС, телескопы и др.).

Применение такого управления в мехатронных, робототехнических и других технологических системах класса обусловлено особенностями выполняемых технологических процессов, среди которых выделим следующие:

1. Векторная ошибка располагается на траектории и не оказывает влияния на выполняемый технологический процесс (его качество оценивается после завершения всей технологической операции).

2. Процесс жестко не лимитирован во времени.

3. Программное движение детерминировано.

Для физической реализации формирования $\Delta g(p)$ необходимо выделить составляющую ошибки, пропорциональную $\Delta f(p)$. Для этого можно использовать информацию с силомоментных датчиков или обработкой сигнала тока исполнительного двигателя. При их отсутствии составляющую $\delta_{\Delta f}$ можно получить обработкой суммарной ошибки в контуре системы, исключив из суммарной ошибки другие, в данном случае детерминированные составляющие, которые могут быть получены например с помощью эталонной модели $M(p)$.

Реализация модифицированной четвертой формы инвариантности возможно использованием методов адаптации. Причем коррекции (адаптации в функции дополнительного возмущения) подлежит управляющее для координатного привода воздействие. Дополнительную составляющую можно сформировать на стадии непосредственно разложения траектории на управляющие для координатных приводов воздействия в устройстве формирования управляющего воздействия (УФУВ). В станках и промышленных роботах это устройство числового программного управления (УЧПУ). При этом, для коррекции траектории движения в координатной плоскости, как будет показано ниже, достаточно скорректировать одну из координат. Структурная схема САУ управления одной координатой приведена на рис. 1.

Рассмотрим особенности динамической коррекции управляющего воздействия на стадии его формирования в интерполяционном блоке устройства ЧПУ на примере двухкоординатного управления по осям *X, Z* в декартовой системе координат [3]. Выделим основные этапы преобразования информации в УЧПУ при формировании управляющего для приводов воздействия. Все преобразования выполняются на программном уровне.

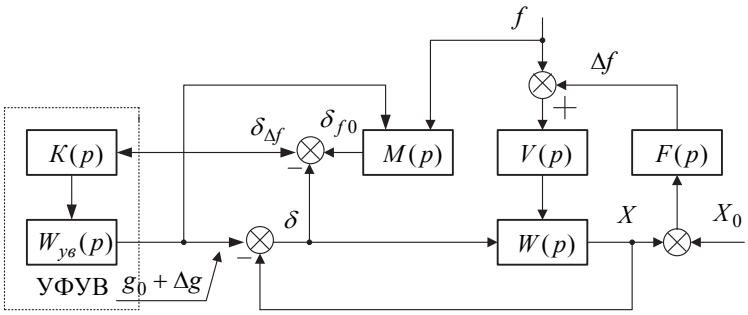


Рис. 1. Структурная схема САУ

1. Разложение интерполятором программной траектории, заданной в определенном коде, на элементарные единичные координатные приращения Δx, Δz. В цикле работы интерполятора на своей частоте f_0 может быть сформирован только один импульс Δx или Δx.

2. Определение интерполяционных импульсов тактируется частотой $f_к$, определяющей контурную скорость $V_к$ управляемого объекта.

3. Формирования координат абсолютного задания $g_x(t)$, $g_z(t)$.

4. Определение ошибок в каналах приводов.

Наибольшее распространение получил метод интерполяции на основе оценочной функции (ОФ). Рассмотри метод коррекции программы для наиболее распространенных видов траектории - прямая линия и дуга окружности. Алгоритм управления по ОФ предусматривает движение шагами по каждой координате в зависимости от знака ОФ в сторону, приближающую программную точку к идеальной траектории. В области всех значений аргументов это предусматривает вычисление ОФ, определение ее знака, и в зависимость от него формирование приращений Δx, Δz. На частоте f_0 определяется новое значение ОФ согласно выражений

$$U_{i+1,j}[nT_0] = U_{i,j}[(n-1)T_0] \pm Z_a \text{ при шаге по } Z;$$
$$U_{i,j+1}[nT_0] = U_{i,j}[(n-1)T_0] \pm X_a \text{ при шаге по } X, \quad (5)$$

где знаки перед X_a, Z_a определяются квадрантом.

В зависимости от знака оценочной функции $U_{i,j}$ делается шаг по одной из координат. Условия выполнения элементарных координатных приращений можно представить в виде

$$\Delta z_{j+1}[nT_0] = \begin{cases} 1 \forall U_{i,j+1} \vee U_{i+1,j} < 0; \\ 0 \forall U_{i,j+1} \vee U_{i+1,j} > 0; \end{cases}$$

$$\Delta x_{i+1}[nT_0] = \begin{cases} 0 \forall U_{i+1,j} \vee U_{i,j+1} < 0; \\ 1 \forall U_{i+1,j} \vee U_{i,j+1} > 0, \end{cases} \quad (6)$$

где i, j – число предыдущих приращений соответственно по координатам X, Z. На частоте $1/T_к$ формируется управляющее для привода воздействие Из выражений (5), (6) следует: 1) в формировании приращений используются только значения координат конечной точки X_a, Z_a, задаваемые в программе и являющиеся для данного участка константами; 2) для изменения траектории достаточно изменить значение одной из координат конечной точки - аргумента, причем независимо от метода интерполяции; 3) в силу принципа разложения заданного контура на управляющие воздействия и двухчастотного преобразования при изменении вектора положения автоматически изменяются проекции вектора скорости; 4) при неизменной в процессе выполнения технологической операции траектории достаточна разовая коррекция параметра X_a или Z_a.

При движении по дуге окружности новое значение ОФ на каждом шаге определяется ОФ V определяет элементарные координатные приращения в виде

$$V_{i+1,j}[nT_0] = V_{i,j}[(n-1)T_0] \pm 2x_i[(n-1)T_0] + 1;$$

$$V_{i,j+1}[nT_0] = V_{i,j}[(n-1)T_0] \pm 2z_j[(n-1)T_0] + 1, \quad (7)$$

где знаки перед вторым слагаемым определяются квадрантом и направлением движения.

В зависимости от знака ОФ приращения формируются в соответствии с логическими уравнениями

$$\Delta x_{i+1}[nT_0] = \begin{cases} 1 \forall U_{i,j+1} \vee U_{i+1,j} < 0; \\ 0 \forall U_{i,j+1} \vee U_{i+1,j} > 0; \end{cases}$$

$$\Delta z_{j+1}[nT_0] = \begin{cases} 0 \forall U_{i+1,j} \vee U_{i,j+1} < 0; \\ 1 \forall U_{i+1,j} \vee U_{i,j+1} > 0. \end{cases} \quad (9)$$

Из выражений (7) - (9) следует, что в отличие от линейной интерполяции здесь для формирования приращений используются текущие координаты X_i, Z_j НА рис. 2 дана иллюстрация метода линейной и круговой интерполяции с коррекцией управляющего воздействия. При движении по прямой программной траекторий является отрезок OA_1 Для перехода на траектории OA_2 или OA_2 достаточно выполнить разовую коррекцию координаты конечной точки по оси X. При движении по дуге окружности программной траектории является дуга AB_1. Для перехода на дуги AB_2 или AB_3 достаточно выполнить разовую коррекцию координаты текущей точки по оси X.

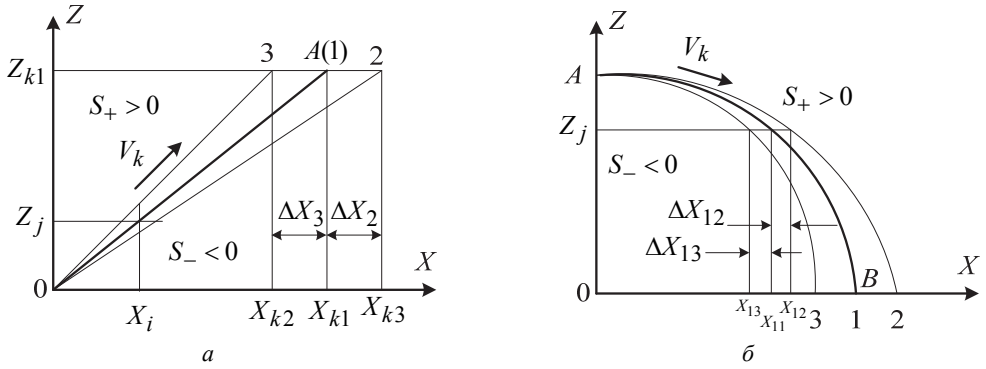


Рис. 2. Движение по программным траекториям с коррекцией

Таким образом, реализация коррекции программного движения на основе четвертой формы инвариантности сводится к коррекции значения одной из координат конечной точки при движении по прямолинейному отрезку и коррекции текущего значения одной из координат при движении по дуге окружности, гиперболе, параболе и эллипсу. Причем, эта коррекция носит разовый характер при дальнейшем сохранении новой траектории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Игнатьев, М. Б.* Об инвариантности голономных автоматических систем // Теория инвариантности и ее применения в системах автоматического управления. – М.: Наука, 1964.

2. *Кобзев, А. А.* Построение адаптивных систем приводов на основе четвертой формы инвариантности // Труды Владимирского государственного университета. – Владимир. ВлГУ, 2008. – С. 56–60.

3. *Кобзев, А. А.* Коррекция программного движения в системах управления сборочными роботами // Известия ВУЗ. Приборостроение, 1992, № 3–4. С. 15–20.

УДК 004.032.26 + 338.27

Май Нгок Тханг[1], В. А. Камаев[1], Тхай Куанг Винь[2]
М. В. Щербаков[1], Ха Ван Муон[1]

УПРАВЛЕНИЕ ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ ПРАВИЛ

[1]Волгоградский государственный технический университет
[2]Институт информационной технологии

mnthang464@mail.ru, kamaev@unix.cad.vstu.ru,
tqvinh@ioit.ac.vn, vstu@gebeus.ru, muon.ha@mail.ru

В статье представлена структура разработанной интеллектуальной гибридной энергосистемы. Цель настоящего исследования заключается в минимизации затрат на потребление электроэнергии за счет выбора оптимальной стратегии переключения между источниками энергии. Стратегия покупки электроэнергии определяется набором правил в зависимости от прогнозируемых данных о потреблении, производстве электроэнергии и текущего тарифного плана электроэнергии. Для обоснования предлагаемого подхода выполнены испытания на разработанной модели гибридной энергетической системы.

Ключевые слова: гибрид, интеллектуальная энергосистема, источники возобновляемой энергии, нейронная сеть, прогноз, оптимизация, HRES.

Mai Ngoc Thang[1], V. A. Kamaev[1], Thai Quang Vinh[2],
M. V. Scherbakov[1], Ha Van Muon[1]

CONTROL OF HYBRID RENEWABLE ENEGY SYSTEM BASED ON RULES

[1]Volgograd State Technical University, Russia
[2]Institute of Information Technology, Vietnam

The structure of intelligent hybrid renewable enegy system is considered in this paper. The aim of this study is to select the optimal strategy for switching between energy sources in order to minimize energy costs. Strategy can be determine with sort of rule based on predicted data of consumption, production of electricity and current electricity tariff. As a result of tests in a simulation energy system shows the effectiveness of the developed system in comparison with the existing energy systems.

Keywords: hybrid, smart grids, renewable energy sources, neural network, forecast, optimization, HRES.

Введение

Проблема сбережения энергоресурсов является важной задачей в области энергетики в связи с сокращением и значительным увеличением цен на традиционные источники энергии. Управление энергопотоками в энергосистемах является сложной задачей, так как для обеспечения максимального баланса между поставщиком и потребителем осуществляется в режиме реального времени. Более того, производство и потребление электроэнергии зависит от различных факторов (температуры, времени, места нахождения здания…). В статье представлена интеллектуальная система управления процессом переключения между источниками энергии в реальном времени с учетом прогнозированных данных о потреблении и производстве электроэнергии. В качестве метода управления энергосистемой используется набор правил для формирования стратегии переключения между источниками электроэнергии в зависимости от текущего тарифного плана.

1. Структура интеллектуальной гибридной энергосистемы

Интеллектуальной гибридной энергосистемой является энергосистема, объединяющая множество традиционных источников и источников возобновляемой энергии в единую систему с применением устройств, реализующих интеллектуальные алгоритмы для управления компонентами системы [4].

В данном проекте интеллектуальная гибридная энергосистема включает в себя следующие компоненты: солнечные панели (1), аккумуляторные батареи (АКБ) (2), контроллер заряда-разряда (3), метеостанция (4), цифровой счетчик электроэнергии для измерения потребления (5), цифровой счетчик электроэнергии для измерения количества электроэнергии из сети (6), инвертор (7), релейный модуль (8), сервер (9) (см. рис. 1).

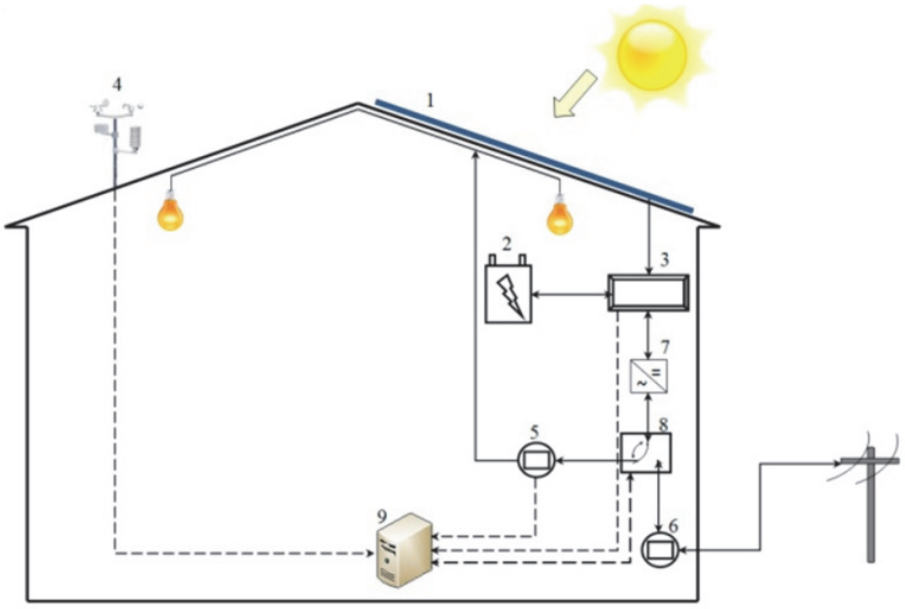


Рис. 1. Схема интеллектуальной энергосистемы

2. Характеристики основных компонентов системы

Солнечная панель (СП). Мощность СП зависит от многих внешних факторов, в числе которых главными являются коэффициент солнечной иррадиации и температура поверхности панели. Мощность СП определяется по формуле [2]:

$$P_{солн} = \begin{cases} P_{CT}\dfrac{G_{CИ}}{G_{CT}}(1+k(T_{CП}-T_{CИ})) & \text{если} \quad G_{CИ} \geq C \\ 0 & \text{если} \quad G_{CИ} < C \end{cases} \quad (1)$$

где $P_{солн}$– мощность, вырабатываемая СП (Вт); P_{CT}– номинальная мощность СП в стандартных условиях (Standard Test Condition – STC), т. е. мощность солнечной радиации 1000 Вт/м^2, температура элементов – 25^{o}C и солнечный спектр на широте 45^o) (Вт) [6]; $G_{CИ}$ – коэффициент солнечного излучения (Вт/м^2); G_{CT} – коэффициент солнечного излучения в стандартных условиях (Вт/м^2); k – температурный коэффициент (%/^{0}C); $T_{CП}$ – температура поверхности солнечной панели (^{0}C); T_{CT} – равна 25^{o}C (температура – в стандартных условиях); C–коэффициент производства энергии, который зависит от характеристики солнечной панели (Вт/м^2).

Блок аккумуляторных батарей (АКБ) обеспечивают запас электрической энергии, необходимой для электроснабжения потребителей в ночное время, в облачную погоду. Также обеспечивается компенсация пиковых нагрузок, которые не могут быть покрыты фотоэлектрическими модулями. Кроме этого, АКБ играет роль стабилизатора напряжения на нагрузке, так как выходное напряжение СП в соответствии с его вольтамперной характеристикой может изменяться в широких пределах.

Контроллер заряда-разряда - электронное устройство, которое защищает АКБ от чрезмерной зарядки и глубокой разрядки, что позволяет значительно продлить срок службы аккумулятора.

Внешняя электросеть подключается в системе при недостаточной мощности, вырабатываемой возобновляемыми источниками, а блок АБ уже разряжен до минимального значения (10 %).

Релейный модуль осуществляет переключение энергетических потоков в соответствии с командами, поступающими от сервера.

Метеостанция - комплекс для ежедневного мониторинга погоды, температуры, давления и влажности воздуха. Данные о погоде могут использоваться для прогнозирования производства электроэнергии солнечными панелями.

Цифровой счетчик электроэнергии применяется для мониторинга потребления электроэнергии. Данные о потреблении электроэнергии могут быть анализировать для прогнозирования потребления электроэнергии.

Инвертор используется для преобразования постоянного тока, вырабатываемого солнечной батареей, в переменный ток синусоидальной формы или наоборот.

Сервер применяется для обработки и хранения данных из метеостанции и счетчика электроэнергии, прогнозирования потребления и производства электроэнергии в ближайшее время, а также форматирования стратегии покупки электроэнергии в зависимости от тарифного плана и прогнозированных данных о потреблении и производстве электроэнергии.

3. Методика прогнозирования потребления и производства электроэнергии

3.1. Предварительный анализ данных о потреблении и производстве электроэнергии

Цель этапа «предварительный анализ данных» заключается в получении корректных и структурированных статистических данных, очищенных от выбросов и наблюдений, не имеющих отношения к рассматриваемой задаче. Предварительный анализ данных включает в себе следующие процедуры: анализ производства и потребления электроэнергии по сезонам, месяцам, неделям и отдельным дням недели; определение пиков в графике потребления; исключение аномалий; восстановление пропусков в данных.

3.2. Построение модели прогнозирования потребления и производства электроэнергии

Существуют разные модели прогнозирования потребления и производства электроэнергии такие как: модель скользящего среднего, модель линейной регрессии, модель на основе искусственных нейронных сетей. В [6] проведен анализ этих моделей и показан, что наиболее точной из рассмотренных методов прогнозирования является модель искусственных нейронных сетей.

Согласно [3,6], на потребление электроэнергии в момент времени *t* наибольшее влияние оказывает потребление электроэнергии в этот же момент времени 1 неделю, 2 недели, 3 недели и 4 недели назад. Следовательно, входными сигналами нейронных сетей в момент *t* являются потребление и производство электроэнергии в моменты *t-24.1.7, t-24.2.7, t-24.3.7, t-24.4.7.* Структура нейронной сети для прогнозирования потребления электроэнергии показана на рис. 2 [7].

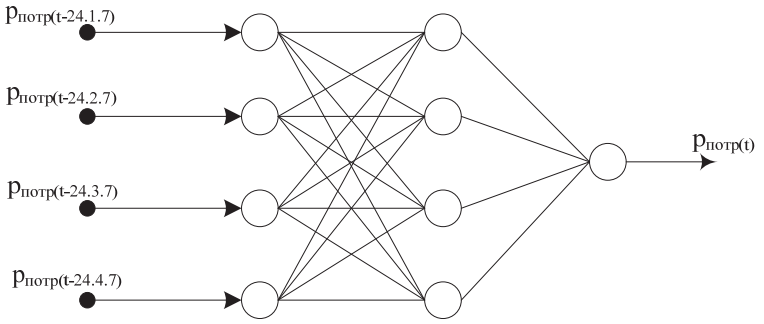


Рис. 2. Структура нейронной сети для прогнозирования потребления электроэнергии

А для прогнозирования производства электроэнергии в момент времени *t* используются данные о производстве электроэнергии в этот же момент времени четырех дней назад (*t-24, t-24.2, t-24.3, t-24.4*). Структура нейронной сети для прогнозирования производства электроэнергии показана на рис. 3.

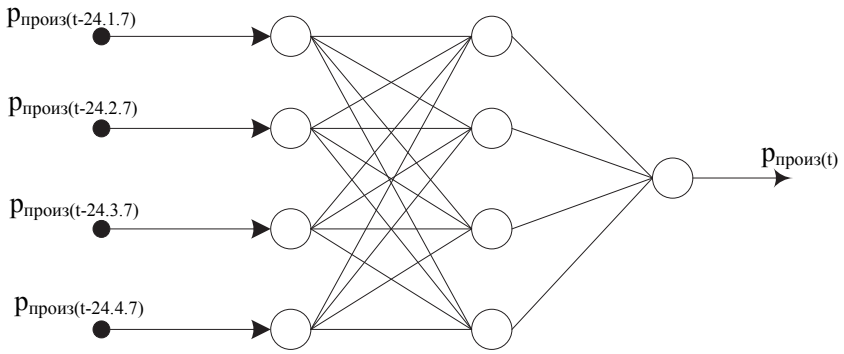


Рис. 3. Структура нейронной сети для прогнозирования производства электроэнергии

Результаты экспериментов показывали, что нейронная сеть, включающая 4 входных нейрона, 1 выходной нейрон и 4 скрытых нейрона дает наиболее точный результат прогноза. В качестве функции активации используется сигмоидная функция.

Для оценки качества прогнозирования используются следующие классические оценки определения точности модели: средняя абсолютная ошибка (MAE), среднеквадратичное отклонение (MSE) [1].

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left| y_m^t - y_p^t \right|}{n} \quad (2)$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left| y_m^t - y_p^t \right|^2}{n} \quad (3)$$

где y_m – измеренные значения энергопотребления (или производства); y_p – спрогнозированные значения энергопотребления (или производства); n – горизонт прогнозирования (n = 96).

4. Метод оптимизации управления гибридной энергетической системой

Качество управления гибридной энергетической системой определяется функцией затрат. Функция затрат (целевая функция) J определяется по формуле:

$$J = \sum_{i=0}^{95} k_i \left(p_{потр.}^i - p_{произв.}^i \right) + \sum_{i=0}^{95} (100\% - S_i).k_i.E_{макс} \quad (4)$$

где k_i – тарифный план электроэнергии в промежутке времени [i; i +1] (руб/кВт·ч); $p_{потр.}^i$ – количество потребленной электроэнергии в промежутке времени [i; i +1] (кВт·ч); $p_{произв.}^i$ – количество производственной электроэнергии в промежутке времени [i; i +1] (кВт·ч); S_i – состояние АКБ в момент времени i (%); $E_{макс}$ – максимальная электроемкость АКБ (кВт·ч)

Цель исследования заключается в формировании оптимальной стратегии переключения между источниками энергии, формулу (4) можно переписать с учетом «коэффициента стратегии покупки электроэнергии» str_i $(i=0,\ldots,95)$, зависящего от текущего тарифного плана электроэнергии:

$$J = \sum_{i=0}^{95} [\left(p_{потр.}^i - p_{произв.}^i \right) + (100\% - S_i).E_{макс}]k_i.str_i \quad (5)$$

$$str_i = \begin{cases} -1 & \text{при продаже электроэнергии} \\ 0 & \text{при использовании собственной электроэнергии} \\ 1 & \text{при покупке электроэнергии} \end{cases} \quad (6)$$

В каждый момент времени система находится в одном из трех состояний: использование собственной электроэнергии (0), продажа электроэнергии (-1) и покупка электроэнергии (1). Входные данные системы сохраняется каждый 15 минут, таким образом, имеются 96 наблюдения в день. Цель оптимизации стратегии покупки электроэнергии заключается в нахождение таких значений str_i $(i=0,\ldots,95)$ при которых достигается минимальное значение целевой функции J.

В статье стратегия покупки электроэнергии формируется на основе прогнозируемых данных о потреблении и производстве электроэнергии с учетом многотарифного плана электроэнергии. График тарифного плана электроэнергии по трем зонам суток показывается на рис. 4 [8].

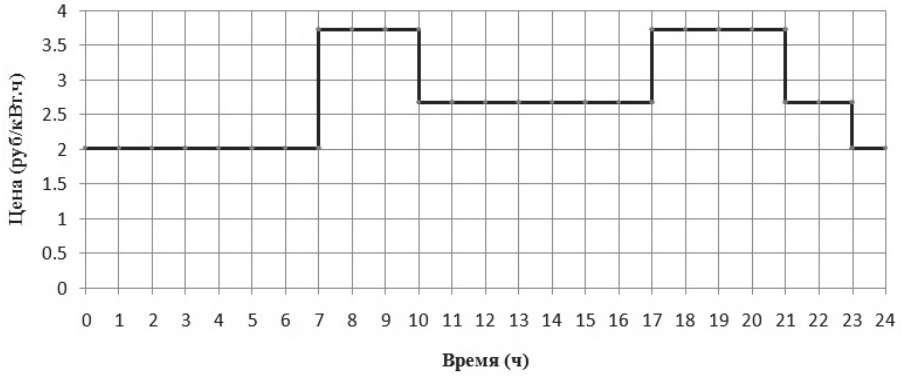


Рис. 4. Тарифный план электроэнергии по трем зонам суток

Оптимизация стратегии покупки электроэнергии основывается на идеи «покупка электроэнергии из сети для заряда АКБ во время ночи (наименьший тарифный план) для использования во время пика (наибольший тарифный план), а если потребление электроэнергии меньше производства, то выполняет продажа электроэнергии».

Обозначается количество электроэнергии, потребленное во времени первого и второго пика $П_1$ (от 7 часов до 10 часов) и $П_2$ (от 17 часов до 21 часа) с учетом производства электроэнергии от солнечных панелей, следовательно:

$$П_1 = \sum_{i=36}^{40}(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}) \quad (7)$$

$$П_2 = \sum_{i=76}^{68}(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}) \quad (8)$$

Стратегия покупки электроэнергии str_t в момент времени t в зависимости от состояния АКБ определяется набором правил таким образом:

1) если $0 \le i < 16$ и $S_i < 90\%$, то выполняется покупка для заряда АКБ и функция затрат:

$$J_1 = \sum_{i=0}^{11}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(100\% - S_i\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (9)$$

2) если $12 \le i < 36$:

если $П_1 + П_2 > S_i.E_{макс}$ и $S_i < 90\%$, то система использует электроэнергию из внешней сети для потребления и заряда АКБ, следовательно:

$$J_2 = \sum_{i=12}^{35}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(100\% - S_i\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (10)$$

иначе система использует электроэнергию из внешней сети для потребления, следовательно:

$$J_2 = \sum_{i=12}^{35}\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right)k_i, \ (str_i = 1) \quad (11)$$

3) если $36 \le i < 44$:

если $П_1 > S_i.E_{макс}$, то система сначала использует электроэнергию из АКБ до того, пока $S_i > 10\%$ ($str_i = 0$). Когда $S_i = 10\%$ система переключается на внешнюю сеть, следовательно:

$$J_3 = \sum_{i=36}^{44}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(100\% - S_i\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (12)$$

иначе система использует электроэнергию из АКБ, следовательно: $J_3 = 0$ ($str_i = 0$);

4) если $44 \le i < 68$:

если $П_2 > S_i.E_{макс}$ и $S_i < 90\%$, то система использует электроэнергию из внешней сети для потребления и заряда АКБ до того, пока значения заряд АКБ равен $П_2$ или $0{,}9.E_{макс}$, следовательно:

$$J_4 = \sum_{i=44}^{67}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(100\% - S_i\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (13)$$

если $П_2 > S_i.E_{макс}$ и $S_i \ge 90\%$, то система использует электроэнергию из внешней сети для потребления, следовательно:

$$J_4 = \sum_{i=44}^{67}\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right)k_i, \quad (str_i = 1) \quad (14)$$

если производства электроэнергии больше потребления, а $S_t \ge 90\%$, то выполняется продажа электроэнергии, следовательно:

$$J_4 = -\sum_{i=44}^{67}\left(p^i_{произв.} - p^i_{потр.}\right)k_i, \ (str_i = -1) \quad (15)$$

5) если $68 \le i < 76$:

если $П_2 > S_i.E_{макс}$, то система сначала использует электроэнергию из АКБ до того, пока $S_i > 10\%$ ($str_i = 0$). Когда $S_i = 10\%$ система переключается на внешнюю сеть, следовательно:

$$J_5 = \sum_{i=68}^{75}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(S_i - 10\%\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (16)$$

иначе система использует электроэнергию из АКБ, следовательно: $J_5 = 0$ ($str_i = 0$);

6) если $76 \le i < 92$:

если $S_i > 10\%$, то система сначала использует электроэнергию из АКБ до того, пока значения $S_t = 10\%$ ($str_i = 0$). Когда $S_i = 10\%$ система переключается на внешнюю сеть, следовательно:

$$J_6 = \sum_{i=76}^{91}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(100\% - S_i\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (17)$$

иначе система использует электроэнергию из внешней сети для потребления, следовательно:

$$J_6 = \sum_{i=76}^{91}\left(p^i_{произв.} - p^i_{потр.}\right)k_i, \quad (str_i = 1) \quad (18)$$

7) если $92 \le t < 96$: система использует электроэнергию из внешней сети для потребления и заряда АКБ, следовательно:

$$J_7 = \sum_{i=92}^{95}[\left(p^i_{потр.} - p^i_{произв.}\right) + \left(100\% - S_i\right).E_{макс}]k_i, \quad (str_i = 1) \quad (19)$$

Общая функция затрат:

$$J = \sum_{k=1}^{7} J_k \quad (20)$$

5. Моделирование гибридной энергетической системы

В данном проекте выполняется испытание работы имитационной модели гибридной энергетической системы офисного здания EcoScada (Бельгия). Входные данные моделирования – данные о погоде и о потреблении электроэнергии электроприборов офисного здания по часам

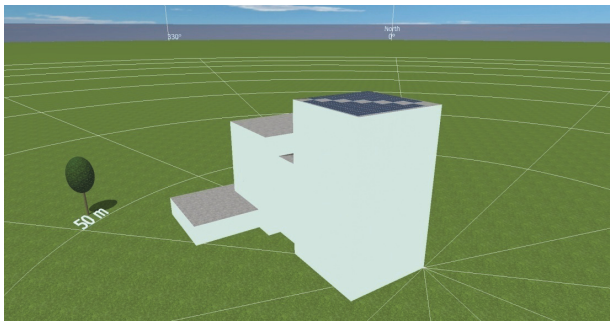


Рис. 5. Модель офисного здания EcoScada

в 2011 году. Выходные данные: профиль потребления и производства электроэнергии здания в 2011 году. Модель офисного здания EcoScada с установленной гибридной энергетической системой представлена на рис. 5.

Диаграмма зависимости погодных условий (среднемесячной температуры воздуха, коэффициента солнечной иррадиации) от времени в месте проведения испытания за каждый месяц 2011 года показана на рис. 6.

Профиль моделируемого потребления и производства электроэнергии офисного здания EcoScada в 2011 году показан на рис. 7.

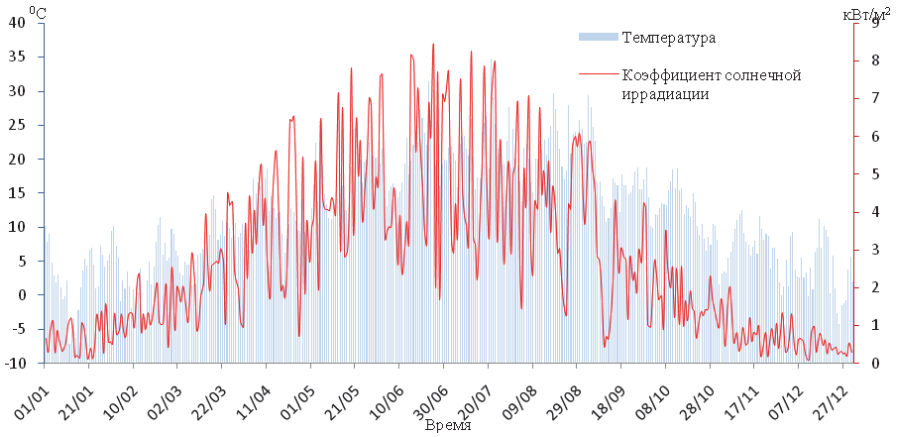


Рис. 6. Диаграмма температуры и коэффициента солнечной иррадиации в 2011 году

Рис. 7. Профиль потребления и производства электроэнергии офисного здания EcoScada в 2011 году

6. Результаты испытания

Испытание интеллектуальной гибридной энергетической системы проводилось в течение произвольно выбранного дня 28.12.2011. Значения модельных и прогнозируемых данных о потреблении электроэнергии для проведения испытания показаны на рис. 8.

График производства электроэнергии, вырабатываемой солнечными панелями, представлен на рис. 9.

В данной статье использован метод форматирования оптимальной стратегии покупки электроэнергии на основе правил. В результате применения метода, оптимальная стратегия покупки электроэнергии в точке максимального коэффициента эффективности представлена на рис. 10.

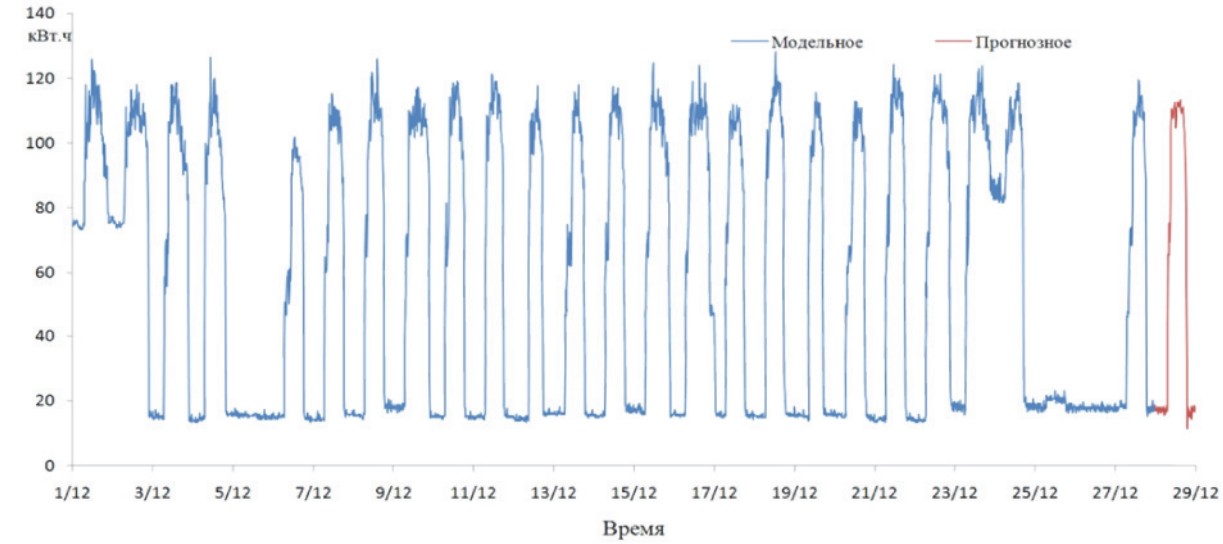


Рис. 8. Прогноз потребления электроэнергии офисного здания EcoScada 28.12.2011

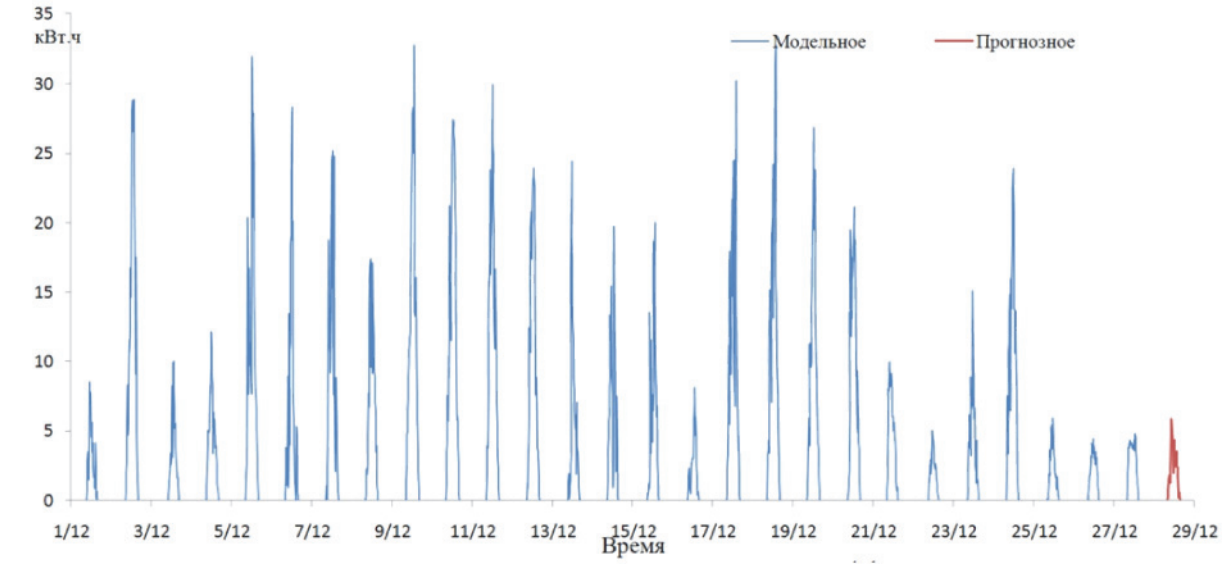


Рис. 9. Производство электроэнергии офисного здания EcoScada 28.12.2011

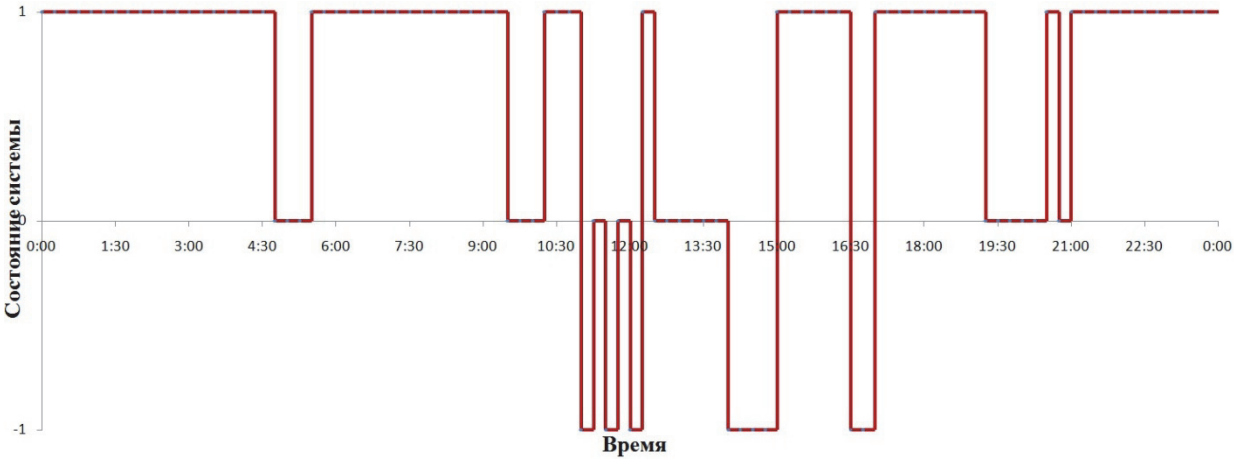


Рис. 10. Диаграмма переключения между источниками энергии офисного здания EcoScada 28.12.2011

Качество управления системой оценивается через процент сокращения затрат на электроэнергию до и после применения метода управления на основе правил и по сравнению с существующим методом (генетическим алгоритмом) [1]. Таблица содержит информацию о гибридной энергетической системе:

Параметры построенной гибридной энергетической системы

Показатели	Описание
Прогнозируемые затраты (руб.)[i]	15548
Реальные затраты (руб.)[i]	15341
Затраты без применения гибридной энергетической системы (руб.)[ii]	16257
Затраты при применении генетического алгоритма (руб.) [1]	14928
Процент сокращения затрат (%)	5.6
Время вычисления (сек.)	0,16

Примечание. (i) расчет по формуле (20); (ii) расчет по формуле (20); (iii) расчет по формуле (4).

Заключение

В статье рассмотрена модель гибридной энергосистемы с источниками возобновляемой энергии в офисном здании EcoScada. В результате моделирования гибридной энергосистемы выявлены оптимальная стратегия покупки электроэнергии 28.12.2011. Преимущество применения подхода заключается в том, что он позволяет определить оптимальную стратегию переключения между внешней электросетью и источниками возобновляемой энергии в зависимости от текущего тарифного плана текущего состояния системы, прогнозируемого состояния. По сравнению с результатом в [1] время вычисления сокращается в 775 раз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Май Н. Т.* Мультиагентный метод управления энергопотоками в гибридной энергосистеме с источниками возобновляемой энергии / Н. Т. Май, В. А. Камаев, М. В. Щербаков, Т. Х. Чинь // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – Т.22, №.2.– С. 30–41.

2. *Щербаков М. В.* ICDMS – Программное обеспечение как сервис для решения задач идентификации на основе коннективистских систем // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2009. – Т.12, №.7. – С. 88-91.

3. *Tran T. H. O.* Parallel neural network application in forecasting power demand / T. H. O. Tran, H. L. Tran, S. T. C. Dong // Development of science and technology magazine. – 2010. – Vol. 10, № 11. – P. 57-73.

4. *Caisheng W.* Modeling and control of hybrid wind/photovoltaic/fuel cell distributed generation systems: a dissertation submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy in Engineering. – 2006. – 402 p.

5. The encyclopedia of alternative energy and sustainable living [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.daviddarling.info/encyclopedia/S/AE_standard_test_conditions.html

6. *Камаев, В.А.* Применение коннективистских систем для прогнозирования потребления электроэнергии в торговых центрах / В. А. Камаев, М. В. Щербаков, Д. П. Панченко, Н.Л. Щербакова, А. Бребельс // Управление большими системами : сб. тр. / Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. –2010. – Вып. 31. – С. 92–109.

7. *Яновский Т.А., Щербаков М.В.* Методика предварительного анализа данных в автоматизированных системных прогнозирования потребления электроэнергии // Вестник компьютерных и информационных технологий.– 2012.– № 3. – С. 21–26.

8. Информационное агентство "Высота 102.0" [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://v102.ru/econom/31182.html

УДК 004.912

А. А. Соколов, А. М. Дворянкин, А. Ю. Ужва

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА НОРМОКОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Волгоградский государственный технический университет
alexander.sokolov.it@gmail.com, dvam@vstu.ru, alexey@uzhva.ru

Представлен метод снижения трудоемкости нормоконтроля технической документации путем автоматизации проверки оформления электронных документов и исправления найденных ошибок в процессе нормоконтроля документации, а также ее разработки.

Ключевые слова: нормоконтроль технической документации, автоматизация, снижение трудоемкости

A. A. Sokolov, A. M. Dvoryankin , A. Y. Uzhva

THE DEVELOPMENT OF THE METHOD OF AUTOMATION OF THE PROCESS OF NORMATIVE CONTROL OF TECHNICAL DOCUMENTATION

Volgogorad State Technical University

Presented the method of reduction of the complexity of normative control of technical documentation. It is accomplished through the automation of electronic documents verification and errors correction with the software tool which uses in processes of development and normative control of documentation.

Keywords: normative control of technical documentation, automation, complexity reduction

Введение

Любое изделие, продукт или программа, разрабатываемое проектной организацией, сопровождается большим количеством технической документации. Заказчики требуют предоставления комплекта проектной документации, оформленной в соответствии с действующими нормами, требованиями и правилами, описанными в нормативных документах [1], таких как:

– стандарты предприятия (СТП);

– Единая система конструкторской документации (ЕСКД) и государственные стандарты (ГОСТ) оформления технической документации.

В таких случаях разработанная документация подвергается процессу нормоконтроля – контролю выполнения разрабатываемой документации, в соответствии с указанными выше нормами, требованиями и правилами.

На сегодняшний день проектные организации работают в условиях жесткой конкуренции, поэтому вопрос нормоконтроля приобрел особую актуальность.

Цели, задачи и порядок проведения нормоконтроля

Нормоконтроль проводится в целях обеспечения однозначности применения конструкторской документации и установленных в ней норм, требований и правил на всех стадиях жизненного цикла изделия [2].

Основными задачами нормоконтроля документации являются: обеспечение соблюдения в технической документации норм, требований и правил, установленных в нормативных документах; достижение единообразия в оформлении и изменении конструкторской документации.

Нормоконтроль является завершающим этапом разработки конструкторской документации. В зависимости от количества и содержания разрабатываемой в организации конструкторской документации нормоконтроль может проводиться одним нормоконтролером [2] или более. Нормоконтролер – это специалист, деятельность которого направлена на проведение нормоконтроля на предприятии. В общем случае нормоконтроль проводится вручную. Модель процесса нормоконтроля документации и ее разработки показана на рис. 1.

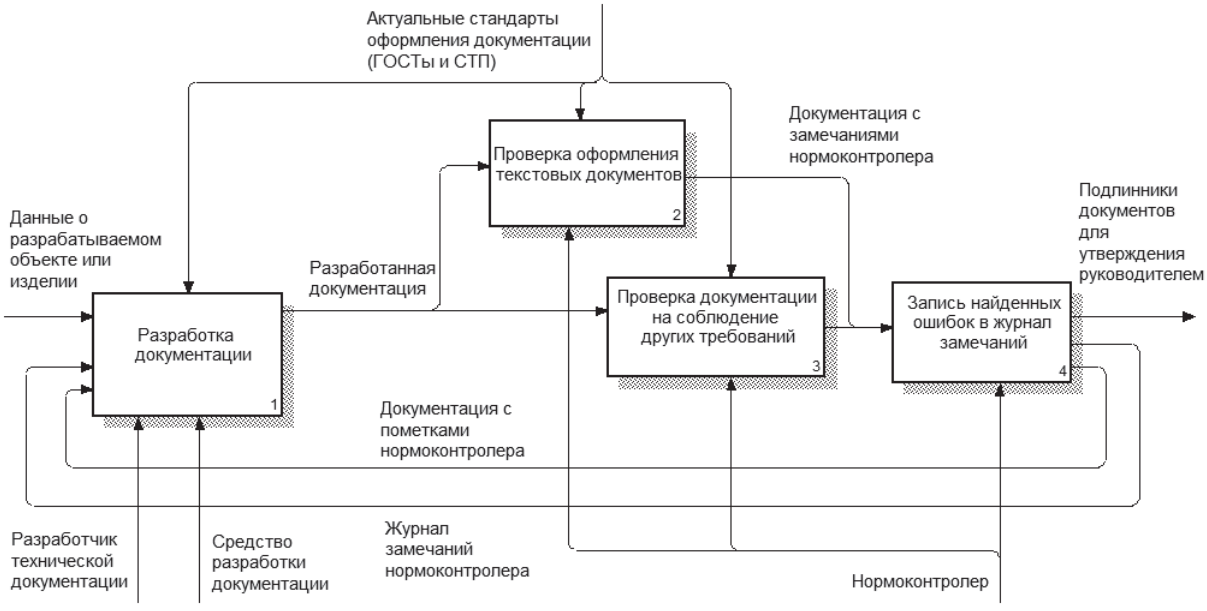


Рис. 1. IDEF0 диаграмма процесса разработки и нормоконтроля документации

Недостатки данного процесса заключаются в том, что этапы процесса нормоконтроля, отличающиеся повышенными требованиями к концентрации, вниманию и квалификации нормоконтролера, являются трудоемкими, поскольку они требуют от нормоконтролера одного сквозного просмотра всего документа или более, а также они являются затратными по времени.

Увеличение времени, затраченного на проведение нормоконтроля, увеличивает сроки сдачи всей разработанной документации, а также приводит к увеличению стоимости проведения нормоконтроля. Также на данном этапе имеет место «человеческий фактор» (допущение ошибок и неточностей при проверке). Таким образом, актуальной задачей является

снижение трудоемкости ручного нормоконтроля путем его автоматизации.

Методы снижения трудоемкости процесса нормоконтроля

Под снижением трудоемкости понимается снижение затрачиваемых времени и ресурсов. Наиболее перспективными способами снижения трудоемкости нормоконтроля является использование программных средств при разработке документации и при проведении нормоконтроля, ввиду следующих фактов:

– существуют формальные правила оформления документации, зафиксированные в стандартах и нормах, которые могут быть запрограммированы в виде параметров проверки документации или в виде шаблонов;

– все большее количество технической документации на сегодняшний день разрабатывается в электронном виде, благодаря чему в организации может быть введен электронный документооборот, четкая организация которого позволяет ускорить прохождение и исполнение документов в организации [3], сократить время как внешних, так и внутренних корреспонденций организации, а также повысить безопасность обработки документов [3].

Существуют следующие методы снижения трудоемкости процесса нормоконтроля:

1) использование шаблонов оформления документов при разработке документации;

2) использование программных средств в процессе нормоконтроля документации.

Метод снижения трудоемкости нормоконтроля путем использования шаблонов документов

Использование шаблонов при разработке документации позволяет создавать корректно оформленную документацию, избежать ряда ошибок оформления документации и тем самым упростить процесс нормоконтроля документации.

Процесс разработки документации и ее нормоконтроля при использовании данного метода схож с тем, что показан на рисунке 1, за исключением того, что теперь этап разработки документации ограничен шаблоном, который задает форматирование документа.

Одним из способов реализации описанного выше метода является использование шаблонов, создаваемых в издательской системе LaTex, которая является одним из общепринятых международных стандартов подготовки научных и технических текстов. Принципиальное удобство издательской системы LaTex заключается в следующем: документ LaTex содержит лишь структурную и семантическую разметку, таким образом, одна строчка, подключающая некоторый стилевой файл, полностью меняет оформление работы; имеется автоматическая генерация ссылок на источники; набор формул эффективнее [4], чем в текстовых процессорах. Данное средство поддерживает создание шаблонов, на основе которых создаются документы, форматированные по указанным в них стандартам.

Недостатки данного метода:

– для процесса разработки документации требуется среда разработки LaTex, что влечет за собой дополнительные затраты времени на ее освоение коллективом разработчиков, особенно, если их деятельность не связана с информационными технологиями;

– при разработке крупных проектов технической документации ее нормоконтроль перед сдачей заказчику по-прежнему требуется, так как для соблюдения формальностей требуется подпись человека, который берет на себя ответственность за корректность его оформления.

Также шаблоны присутствуют в текстовых процессорах – компьютерных программах, используемых для написания и модификации документов, компоновки макета текста и предварительного просмотра документов в том виде, в котором они будут напечатаны [5]. Преимуществами данных систем является то, что как сами системы, так и разработка в них шаблонов документов просты в освоении.

Недостатки данного метода заключаются в том, что:

– данные шаблоны не могут поддерживать большое количество проверок свойств документа на соответствие стандартам;

– при разработке крупных проектов технических документаций нормоконтроль по-прежнему необходим.

Метод автоматизации проверки оформления документации

На сегодняшний день существуют различные программные средства, направленные на снижение трудоемкости нормоконтроля технической документации путем автоматизации проверки ее оформления. Одним из таких средств является «Орфограммка» – интеллектуальный веб-сервис проверки орфографии, грамматики, пунктуации и стилистики. Также сервис проверяет курсовые и дипломные рабо-

ты на соответствие требованиям ГОСТа [6]. Преимуществом данного метода является то, что разработанное для его реализации программное обеспечение берет на себя процесс проверки оформления документа.

Недостатки данного метода заключаются в следующем:

– поддерживается малое количество проверяемых свойств документа в существующих программных средствах;

– в существующих программных средствах имеется ограниченный набор стандартов проверки документов;

– найденные программным средством ошибки необходимо исправлять вручную.

В связи с наличием указанных выше недостатков существующих методов, которые позволяли только разрабатывать корректно оформленную документацию, с повышением трудоемкости ее разработки, либо снижали трудоемкость самого процесса нормоконтроля, однако выполняя малое число проверок и не исправляя ошибки, актуальной является задача разработки нового метода.

Метод автоматизированной проверки оформления документации и исправления найденных в ней ошибок

Суть разработанного метода снижения трудоемкости нормоконтроля заключается в автоматизированной проверке оформления электронного документа и исправлении найденных в нем ошибок программным средством, которое необходимо разработать для реализации данного метода.

Программное средство должно использоваться в процессе нормоконтроля документации, снижая его трудоемкость путем проверки оформления электронных документов в соответствии с правилами, установленными в указываемых пользователем стандартах. Также оно должно использоваться разработчиком документации для упрощения разработки более корректно оформленной документации без повышения трудоемкости ее разработки в используемом текстовом процессоре. Модель разработки и нормоконтроля документации, осуществляемых с использованием разработанного метода, показана на рис. 2.

Данный процесс является схожим с процессом разработки документации и ручным нормоконтролем, показанными на рис. 1. Здесь помимо разработчика и нормоконтролера в нем участвует программное средство, которому необходим формализованный набор стандартов оформления документации, в соответствии с которыми проверяется документ.

Использование программного средства только разработчиком может осуществляться в тех случаях, когда размер организации небольшой и содержание нормоконтролера является слишком затратным. В этом случае разработчик самостоятельно проверяет оформление разрабатываемого документа в процессе работы.

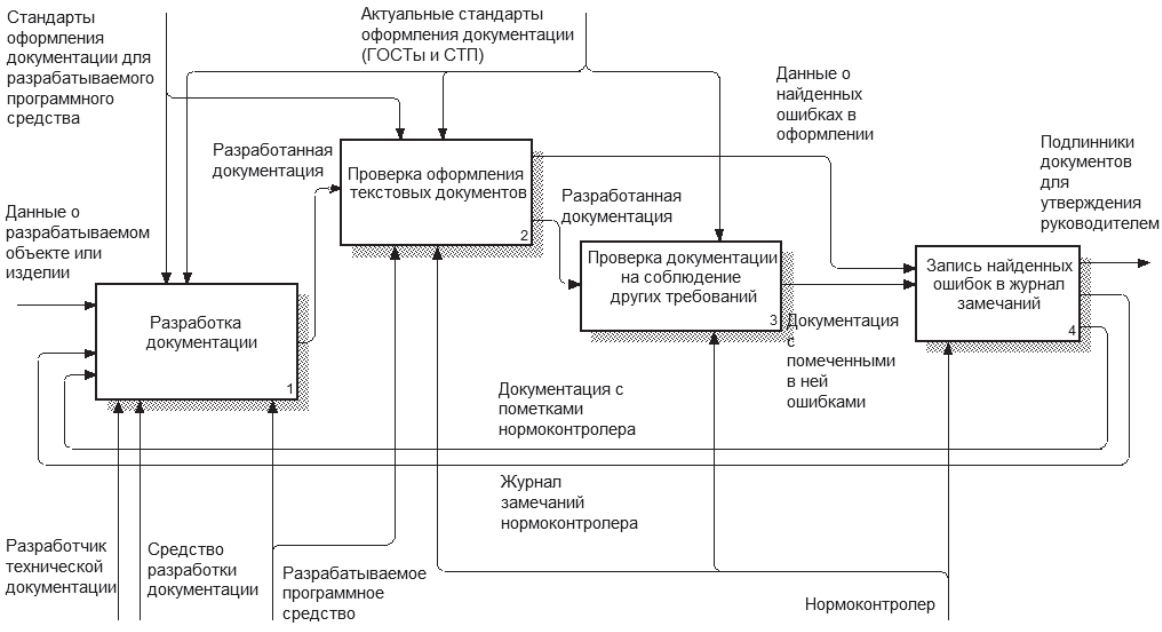


Рис. 2. IDEF0 диаграмма процесса разработки и нормоконтроля документации с применением разработанного метода

Достигнутые результаты

Был разработан прототип программного средства поддержки разработанного метода в виде надстройки для Microsoft Office Word 2007. Экранная форма данного программного средства показана на рис. 3.

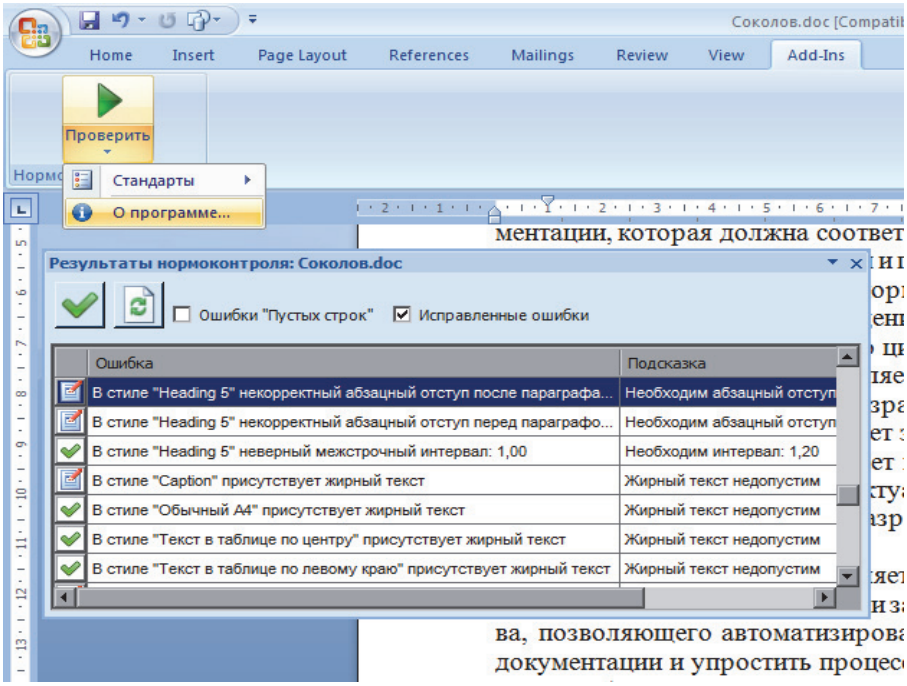


Рис. 3. Экранная форма прототипа программного средства

Разработанное программное средство было апробировано при проведении нормоконтроля на кафедре программного обеспечения автоматизированных систем (ПОАС) Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ) в 2012-2013 учебном году. Было установлено, что на данном этапе разработки с его помощью можно добиться снижения трудоемкости процесса нормоконтроля одной работы студента до 30% по сравнению с существующим процессом ручного нормоконтроля.

Данная работа получила 2-е место на конференции-конкурсе научных, конструкторских и технологических работ студентов ВолгГТУ в октябре 2012 года, по данной работе оформлен ряд научных публикаций.

Получен отзыв об актуальности и положительных результатах тестирования разработанного прототипа от ООО «ВолгаТЭКинжиниринг», разработанное средство может быть внедрено в процесс нормоконтроля.

Выводы и перспективы дальнейшей разработки

В данной статье был изучен существующий на сегодняшний день процесс нормоконтроля технической документации, был проведен обзор методов снижения трудоемкости нормоконтроля, были выделены преимущества и недостатки существующего процесса нормоконтроля и методов снижения его трудоемкости. Был разработан новый метод снижения трудоемкости нормоконтроля технической документации, который заключается в автоматизации проверки оформления документации как на этапе нормоконтроля документации, так и в процессе ее разработки, и автоматизированном исправлении найденных ошибок. Для реализации данного метода был разработан прототип программного средства. Были приведены результаты апробации метода при помощи разработанного прототипа программного средства. На данный момент разработка и совершенствование данного программного средства продолжается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Соколов, А.А.* Разработка программного продукта для автоматизации нормоконтроля технической документации / А.А. Соколов // Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области информатики и информационных технологий : сб. науч. работ. В 3 т. Т. 3 / ФГАОУ ВПО «Белгородский гос. нац. исслед. ун-т». – Белгород, 2012. – С. 321–326.

2. ГОСТ 2.111-68. Единая система конструкторской документации. Нормоконтроль. – Введ. 01.07.71. – М.: Стандартинформ, 2007. – 9 с. – (Межгосударственный стандарт).

3. *Белов, С. В.* Процедура нахождения оптимального маршрута движения документа/ С. В. Белов, Б. Р. Досмухамедов // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 15(102) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах» ; вып. 15). – С. 73–79.

4. *Рыбанов, А. А.* Технология повышения эффективности информационной поддержки, мониторинга и контроля за процессом выполнения выпускных квалификационных работ / А. А. Рыбанов, Л. А. Макушкина, М. В. Фадеева // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13(116) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – (Серия «Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе» ; вып. 10). – С. 122–125.

5. Word processor [Электронный ресурс] / Encyclopædia Britannica. – [2012]. – Режим доступа : http://www.britannica.com/EBchecked/topic/1086871/word-processor.

6. Орфограммка. Веб-сервис проверки правописания [Электронный ресурс] / ООО «Орфограмматика». – [2013]. – Режим доступа : http://orfogrammka.ru/info.html

УДК 004.4'236

О. А. Сычев, В. А. Иванов

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕГУЛЯРНОГО ВЫРАЖЕНИЯ В ВИДЕ ГРАФА КАК ИНСТРУМЕНТА ПОМОЩИ СОСТАВИТЕЛЮ РЕГУЛЯРНОГО ВЫРАЖЕНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

oasychev@gmail.com, zlumyo@gmail.com

Статья посвящена проблема помощи составителям регулярных выражений, особенно в случае использования регулярных выражений преподавателями не ИТ-дисциплин в тестовых вопросах. Для типа вопроса Preg СДО Moodle был создан инструмент помощи составителю регулярных выражений, визуализирующий выражение в виде графа, наглядно демонстрирующего его работу. Отзывы пользователей показывают, что разработанный инструмент позволяет сократить время составления регулярных выражений, упростить их изучение начинающими авторами вопросов, а также находить ошибки в сложных регулярных выражениях с большим количеством развилок.

Ключевые слова: визуализация, регулярные выражения, графы.

O. A. Sychev, V. A. Ivanov

REGULAR EXPRESSION VISUALISATION AS A HELPING TOOL FOR THE REGULAR EXPRESSION AUTHOR

Volgograd State Technical University

The paper address a problem of helping regular expression authors, especially in case of using regular expressions in the quizzes by the teachers of non-IT disciplines. A helping tool ‘Explanation graph’ was developed for Preg question type for popular Moodle LMS. Users’ reviews demonstrate that developed tool allows shortening time spent on regular expression creation, lowering learning curve for novice Preg questions authors and finding errors in complex regexes with many alternative branches.

Keywords: visualization, regular expressions, graphs.

1. Проблема составления регулярных выражений

В настоящее время тестовые вопросы с проверкой по регулярным выражениям все более активно применяются при организации тестирования студентов. Примером может служить тестовый вопрос Preg для системы дистанционного обучения Moodle (СДО Moodle), разработанный на кафедре ПОАС Волгоградского государственного технического университета. Составлением вопросов с применением регулярных могут заниматься преподаватели различных дисциплин, в том числе и не связанных с информационными технологиями (ИТ)[1]. Преподаватели используют регулярные выражения для того, чтобы учесть вариативность возможных ответов студентов – при наличии в ответе нескольких групп альтернативных вариантов количество возможных ответов растет мультипликативно. Исследования показали, что при оценивании свободных ответов студентов размером в одно предложение, автоматическая оценка на основе различных методов (включая регулярные выражения) дает результаты, сравнимые по качеству с ручным оцениванием преподавателями [2].

Однако широкому распространению такого подхода мешает слабое знакомство преподавателей многих дисциплин с регулярными выражениями, изучение которых традиционно входит в подготовку лишь специалистов по информационным технологиям. А в сложных случаях составление и верификация регулярных выражений представляет проблемы и зна-

комым с ними людям. Решить эту проблему могли бы инструменты, оказывающие помощь автору регулярного выражения. Одним из эффективных способов помощи в понимании текста, записанного на сложном формальном языке (к которым относятся регулярные выражения) является наглядная визуализация записанного. При этом следует учесть, что многие авторы вопросов с регулярными выражениями слабо знакомы с их синтаксисом и при составлении опираются более на интуицию, чем на точное применение правил.

2. Существующие средства визуализации регулярных выражений

Визуализация регулярных выражений в виде графа неоднократно применялась при изучении регулярных выражений (как правило, в контексте изучения теории автоматов и формальных языков). При этом обычно визуализируется конечный автомат[3], выполняющий регулярное выражение. Примером такого инструмента визуализации регулярных выражений является программа RegExpert, созданная группой исследователей из Университета Загреба [4]. Она применяется в учебном процессе при обучении студентов теории конечных автоматов и регулярных языков. Программа генерирует графы конечных автоматов, где все символы регулярных выражений являются метками дуг переходов (рис. 1). Такая форма представления регулярного выражения является удобной при изучении теории автоматов, но не для авторов регулярных выражений: нумерованные узлы с представлением символов переходами, а также влияние петель, обеспечивающих зацикливание бесконечных квантификаторов, неочевидны для людей, не знакомых с теорией автоматов. К тому же такая форма отображения занимает много места на экране даже для сравнительно коротких выражений.

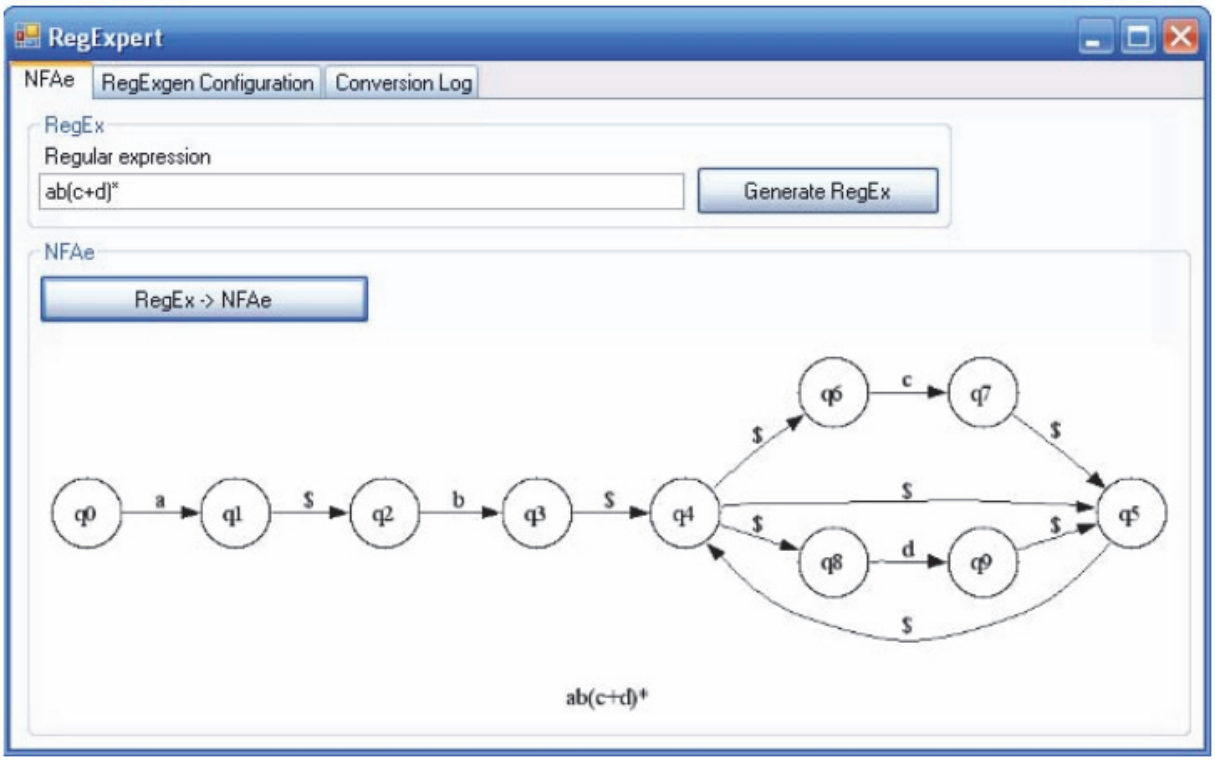


Рис. 1. Главное окно RegExpert

С точки зрения составителя регулярных выражений, не знакомого с теорией конечных автоматов, более логичным является отображение символов как узлов, а не дуг графа. Такой подход был реализован в программе Regexper, разработанной Джеффом Авалоном [5]. В ней регулярное выражение визуализируется в более доступном виде (рис. 2). К сильным сторонам Regexper следует отнести большую компактность генерируемых этой программой графов, а также объединение конкатенированных последовательностей символов в один узел.

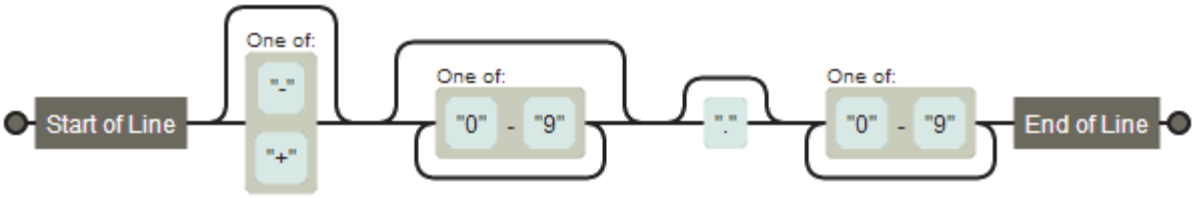


Рис. 2. Граф выражения *^[-+]?[0-9]*\.?[0-9]+$* построенный Regexper

Однако Regexper обладает рядом недостатков. Одним из самых серьезных является использование петель графа для показа квантификации, что не всегда очевидно для плохо знакомых с теорией автоматов пользователей. Ситуацию ухудшает отсутствие стрелок – направление петель показывается лишь слабозаметным способом спряжения дуг при слиянии – сравните две дуги на рис. 3, идущие в разных направлениях. Кроме того, Regexper поддерживает только Javascript-диалект регулярных выражений, в то время как тип вопроса Preg использует более мощный диалект перл-совместимых регулярных выражений[6].

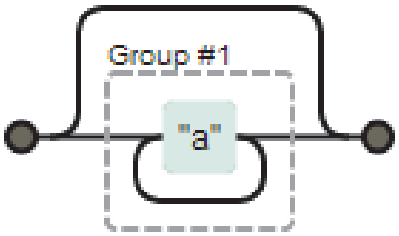


Рис. 3. Граф Regexper по регулярному выражению *(a+)?*

К проблемам Regexper следует отнести также отображение символов и их последовательностей в двойных кавычках, что затрудняет понимание в случаях, если отображаемым символом являются сами двойные кавычки, либо последовательность символов, заключенная в них. При отображении простых утверждений и эскейп-последовательностей используется цветовое кодирование узлов, отличающее смысловые надписи от последовательностей символов из регулярного выражения; однако выбор цвета непоследователен: \w (совпадающее с символом слова) и \b (простое утверждение, проверяющее границу слова и не совпадающее непосредственно с символом) показываются одинаковым цветом; в то время, как ^ и \b, являющиеся утверждениями – разными. Более того, для последовательности \w, совпадающей с одним символом, который может входить в слово, используется надпись «word», что может ввести в заблуждение неопытного пользователя, который может решить, что \w совпадает с целым словом. Эти недостатки видны на рис. 4.

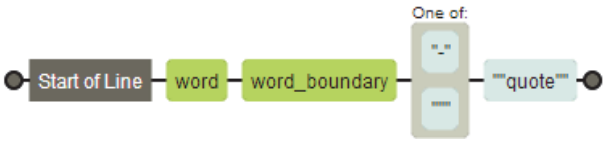


Рис. 4. Граф Regexper для выражения *^\w\b[\-"]"quote"*

Кроме того, СДО Moodle и тип вопроса Preg разработаны на языке PHP, в то время как Regexper использует в качестве серверного языка Ruby. Необходимость ставить на сервер дополнительный язык программирования для обеспечения работы модуля визуализации регулярных выражений может стать серьезным препятствием для внедрения продукта; далеко не все веб-хостинги позволяют использовать оба языка.

3. Объясняющий граф регулярного выражения

В помощь преподавателям, составляющим регулярные выражения для тестовых вопросов Preg, был разработан инструмент «Объясняющий граф», являющийся частью более обширного инструментария автора вопросов этого типа. Код инструмента написан на языке PHP, при этом для визуализации графов используется распространенный (в том числе на веб-серверах) пакет Graphviz[6]. Используется диалект перл-совместимых регулярных выражений (PCRE).

Узлами визуализируемого графа служат операнды, совпадающие с конкретными символами или набором символов (рис. 5, *а*). Дуги отображают возможные переходы между ними при конкатенации и альтернативе (рис. 5, *б*) – но не при бесконечном повторении (см. далее). Последовательность из конкатенированных символов отображается единым узлом для компактности графа.

Простые утверждения отличаются от символов тем, что проверяют условие между символами строки, в которой ищется совпадение.

Поэтому простые утверждения отображаются как метки к дугам, что подчеркивает их отличие от символов и символьных классов (рис. 5, *в*).

В розовых эллипсах отображаются словесные описания (по выбору пользователя на русском или английском языке) распространенных эскейп-последовательностей, обозначающих группы символов (\d, \D, \s, \S, \w, и \W) и юникод-свойств. Символьные классы ото-бражаются в виде прямоугольника с секциями, которые содержат отдельные его элементы – перечень символов, диапазоны,POSIX-классы, эскейп-последовательности и юникод-свойства. Над секциями расположена надпись «Любой символ из» (или «Любой символ кроме», если это отрицательный символьный класс) – см. пример на рис. 5, *г*.

Обратные ссылки изображаются в виде эллипсов с синей окантовкой, содержащих надпись «обратная ссылка на подвыражение №X» (рис. 5, *д*).

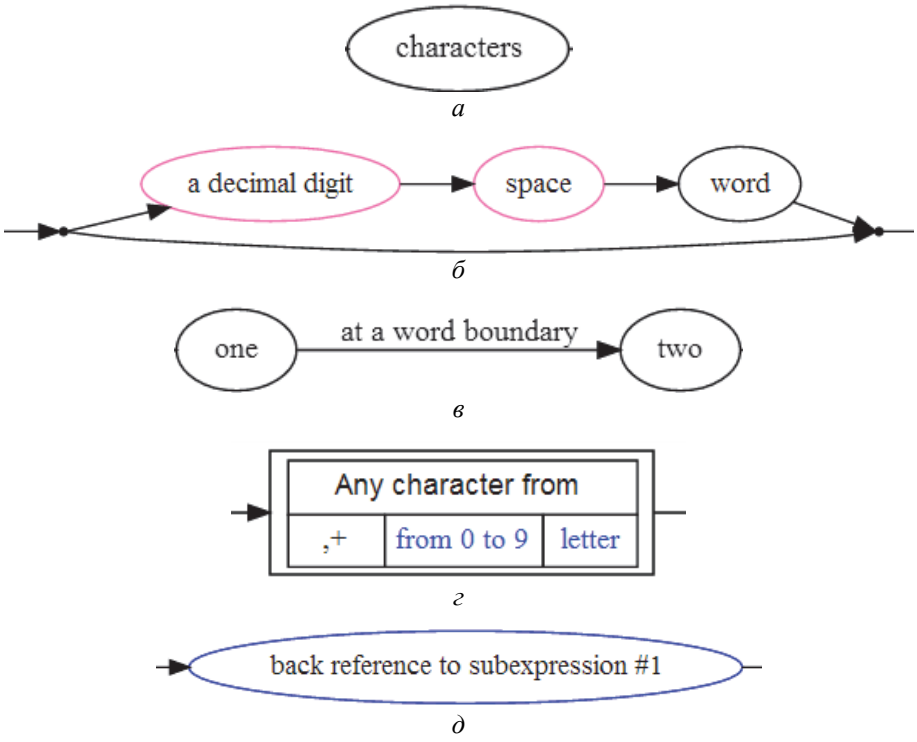


Рис. 5:
а – узел графа есть операнд регулярного выражения; *б* – дуги графа показывают переходы между операндами; *в* – метки к дугам показывают простые утверждения; *г* – отображение символьного класса *[,0-9+[:alpha:]]* в графе; *д* – отображение обратной ссылки в графе

Квантификаторы (повторение части выражения) изображаются в виде пунктирных прямоугольников, в которые заключается повторяемый фрагмент выражения, при этом сверху располагается надпись, указывающая возможное количество повторений (рис. 6). Таким образом, для показа бесконечного повторения не используется дуги графа, что делает граф ориентированным и ациклическим [7]. Это делает визуализацию повторения единообразной (для конечных и бесконечных квантификаторов) и более понятной людям, незнакомым с теорией автоматов.

Подвыражения (подмаски) представляются как прямоугольники аналогичные квантификаторам, но со сплошной границей, надпись указывает номер и/или имя подвыражения; группировки отображаются также, но без надписи сверху (см. рис. 7).

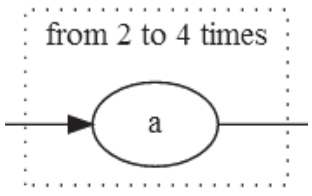


Рис. 6. Отображение квантификатора в графе

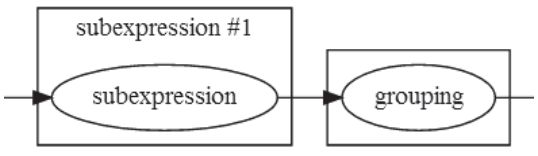


Рис. 7. Отображение подвыражения и группировки в графе

Условные подвыражения отображаются в таком же прямоугольнике, как и обычные, но внутри содержат условие, заключенное в фиолетовый прямоугольник, от которого идут дуги с метками «истинно» и «ложно». Эти дуги идут к прямоугольникам с штриховой окантовкой, которые содержат части шаблона, которые будут выполняться в зависимости от истинности условия (рис. 8).

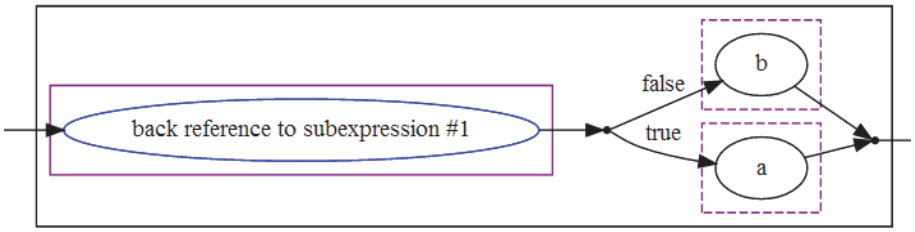


Рис. 8. Отображение условного подвыражения в графе

Инструмент визуализации графа является частью инструментария помощи составителям регулярных выражений в вопросах типа Preg. Для улучшения понимания регулярного выражения пользователю была дана возможность выделить часть текста регулярного выражения, при этом соответствующая часть графа будет выделена зеленым прямоугольником (рис. 9).

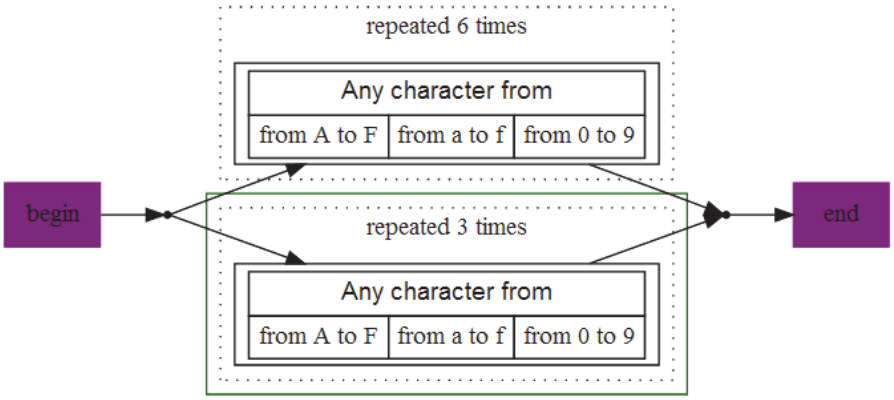


Рис. 9. Пример взаимодействия с инструментами помощи в составлении регулярных выражений

4. Обсуждение

На данный момент инструмент визуализации объясняющего графа регулярного выражения вместе с остальными инструментами помощи в составлении регулярных выражений включен в состав вопроса Preg для СДО Moodle. Он был предложен для использования нескольким преподавателям в различных областях знаний, от которых получены отзывы о его работе. В опыте участвовали преподаватели в области медицины, английского языка (как иностранного), а также информационных технологий (дисциплины "Дискретная математика", "Теория принятия решений", "Исследование операций" и "Методы обработки информации").

Все участвующие в опросе преподаватели отметили полезность объясняющего графа при разработке регулярных выражений. Наибольшая полезность объясняющего графа отмечалась (сразу несколькими преподавателями) для регулярных выражений, связанных с большим количеством ветвлений, для оценки правильности расстановки скобок и альтернатив, а также коррекции обнаруженных ошибок. Преподаватели информационных технологий до использования объясняющего графа пользовались несколькими сайтами конструирования регулярных выражений, при этом было отмечено, что примерно в 15 % случаев объясняющий граф помог найти и исправить ошибки в регулярных выражениях и обеспечить охват всех возможных вариантов правильного ответа, которые не были обнаружены при использовании других средств автоматизации конструирования регулярных выражений.

Составители регулярных выражений, использовавшие объясняющий граф, также отметили, что он позволяет наглядно показать, как компьютер будет интерпретировать регулярное выражение, сохраняя большое количество вре-

мени, которое раньше тратилось на догадки («saving a wealth of guess-work time»); а также выразили уверенность, что, как средство обеспечения наглядности, разработанная программа значительно сократит им время обучения коллег использованию регулярных выражений в тестовых вопросах.

Вместе с тем, преподаватели разошлись в оценках выбранного метода изображения квантификаторов: в то время как преподаватели информационных технологий предпочли бы видеть их изображенными в виде петель графа, преподаватели в других областях знаний (не знакомые с теорией автоматов) предпочитают выбранный авторами статьи вариант – специальный прямоугольник с надписью на естественном языке о виде повторения. В будущем возможна реализация настройки способа отображения квантификаторов.

При дальнейшем развитии инструмента планируется показ части регулярного выражения, соответствующего выделенной части графа; а также решение обратной задачи – формирование регулярного выражения по построенному пользователем графу. На основе разработанных инструментов помощи составителю регулярных выражений может быть также построен специальный тестовый вопрос для студентов, изучающих регулярные выражения; который мог бы использовать эти инструменты в качестве подсказок, чтобы помочь студентам разобраться в ошибках при работе с регулярными выражениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сычев, О. А.* Архитектура программного обеспечения тестового вопросах preg с оценкой ответа по регулярным выражениям, поддерживающего возможность подсказок продолжения совпадения/О. А. Сычев, В. О. Стрельцов, Д. В. Колесов // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 15/ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - (Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»). –С. 99–104.

2. *Butcher, P.G., Jordan, S. E*. A comparison of human and computer marking of short free-text student responses // Computers & Education, Volume 55, Issue 2, September 2010, Pages 489-499.

3. Теория автоматов / Э. А. Якубайтис, В. О. Васюкевич, А. Ю. Гобземис, Н. Е. Зазнова, А. А. Курмит, А. А. Лоренц, А. Ф. Петренко, В. П. Чапенко // Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика. – М.: ВИНИТИ, 1976. – Т. 13. – С. 109–188.

4. Budiselic I. ,Srbljic S. , Popovic M. RegExpert: A tool for visualization of regular expressions. EUROCON 2007 - the international conference on computer as a tool; 2007- pp 2387-2389.

5. Regexper / [Электронный ресурс] – [2012]. – Режим доступа: http://www.regexper.com/

6. *Ellson J., Gansner E., Lefteris Koutsofios, North C. S., Woodhull G. Graphviz*— Open Source Graph Drawing Tools // Graph Drawing, Lecture Notes in Computer Science Volume 2265, 2002, pp 483-484.

7. *Харари Ф.* Теория графов. – М.: УРСС, 2003. – 300 с.

УДК 004.942 + 025.1

Ofut O. Tumenayu, O. Shabalina

APPROACHES OF ADAPTIVE EDUCATIONAL GAMES DEVELOPMENT USING PEDAGOGICAL AGENTS

Volgograd State Technical University

Ofuriti4u@yahoo.com, o.a.shabalina@gmail.com

In this paper we describe the approaches for improving adaptivity by adding Pedagogical Agents to educational games in order strive to enhance cognitive and motivation abilities as well as support the learner based on his/her user model.

Keywords: adaptive educational game, pedagogical agent, cognitive intervention, motivational intervention, social interaction.

Офут О. Туменайу, О. Шабалина

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ АГЕНТОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АДАПТИВНЫХ ОБУЧАЮЩИХ ИГР

Волгоградский государственный технический университет

В статье описан метод разработки компьютерных обучающих систем, основанный на применении анимированных программных компонентов – Педагогических Агентов. Рассмотрены свойства Педагогических Агентов, позволяющие повысить когнитивные и мотивационные возможности адаптивных обучающих игр.

Ключевые слова: адаптивная обучающая игра, педагогический агент, когнитивная интервенция, мотивационная интервенция, социальная интерактивность.

Introduction

There is no dough learning in real life is always connected to some forms of social interaction or communicative purpose with other human being. Educational researchers have noted that it is an essentially social activity, and also we are more like to succeed in our effort to educate if we recognize this principle. But can we capture the social quality of learning when student sit in front of a computer to learn on their own?

In our on-going work of developing adaptive educational games we have sought to address precisely that question. By include a pedagogical conversational agent in the game; we set out to create opportunities for social interaction between students and the agent within learning environment which in turn would enhance adaptivity in Game Based leaning (GBL). The Pedagogical Agent (PA) keeps the student engaged in the learning environment without too much attention to itself as an artifact.

1. Concept of Adaptive Educational Game

Educational games could create a flow needed to keep high motivation and attention for a learner. This is typically achieved by finding the correct mix of game and didactic elements. The challenge of integrating personalized learning experiences into educational games provides significant to GBL. In many instances little was done to blur the boundaries between gaming and learning, something which is considered a desirable feature [1]. Whilst research into the effective integration of gaming and learning is still ongoing [2, 3] the compulsion to provide a personalized educational experience is driven by established research in Intelligent Tutoring Systems (ITS) and Adaptive Hypermedia (AH) [4]. The provision of personalization is long established to be beneficial to learning outcomes and experience [4,5]. Whereas ITS and AH systems typically have complete control of the learning experience, Adaptive Educational Games (AEGs) are faced with the additional hurdle of maintaining game narratives which potentially may be static and linear. As a result any adaptation performed in an AEG must be appropriately constrained.

Brusilovsky describes adaptivity as an alternative to the traditional one-size-fits-all approach [4]. This approach is applied in many domains.

In traditional education systems the one-size-fits-all approach is adopted. All students in a class have one teacher, and all have the same learning trajectory, regardless of their learning capabilities and personal skill-set and preferences. It

is generally accepted, that personalized learning approaches would be much more effective.

In order to sustain the high level of adaptivity in educational games a PA with multimedia resources in a human-like way can be added in order to stimulate learning. A learner can easily adapt to learning content by interacting with one or more Pedagogical Agents, who may provide information or encouragement or even collaborating with the learner to achieve a specific learning task.

2. Using of Pedagogical Agents method in Adaptive Educational Games

P As are human-like characters that are included in educational and instructional materials in order to somehow stimulate learning [10]. They can have abilities like moving, talking, feeling and reacting to user within their environment. “a learner can learn content through interacting with one or more PAs, who may provide information or encouragement, share menial tasks, or collaborate with the learner” [11]. In a study conducted by Kim and Baylor [11] it was found that students who worked with high-competency animated PAs – in both proactive and responsive conditions – achieved higher scores in applying what they had learned and showed more positive attitudes toward the animated PAs. Agents can also have different roles to support education, for example observing the students' actions and assessing them, in addition to providing feedback, explanations and demonstrations to the learner [9].

In this case the agents can create a scenario whereby the learner can engage in more meaningful interaction for easily adaptation.

3. Cognitive and Motivational Interventions provided by Pedagogical Agent

When developing an adaptive system, it is also necessary to determine how the system will adapt to the user.

In the context of educational games using Pedagogical Agent all forms of adaptive intervention provided by Pedagogical Agent is summarize as either cognitive or motivational.

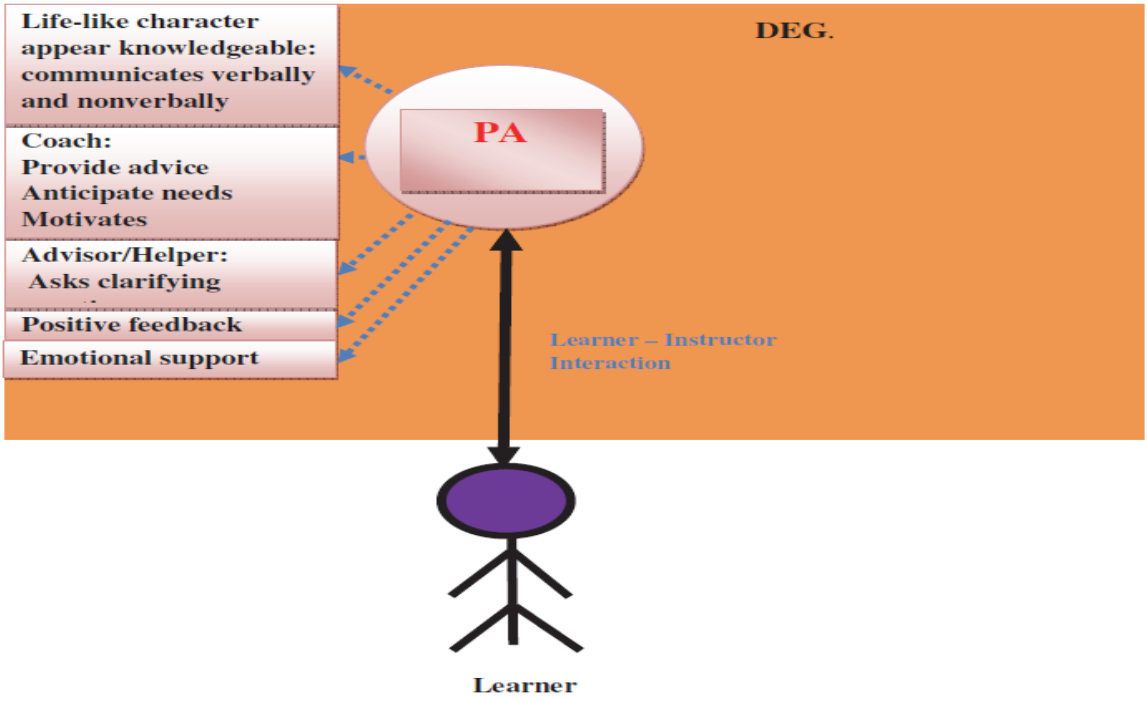


Figure 1: Pedagogical Agent techniques: DEG hosting PA

3.1. Cognitive interventions

Pedagogical Agents could possess some cognitive intervention functionalities to strive to enhance cognitive abilities and support the learner based on his/her user model. A number of subtypes of this type of intervention are distinguished below:

– *competence activation interventions,* when a learner is stuck in a certain task because results led to the assumption that the learner possesses the necessary Skills, the temporary inactive skills could be reactivated. E.g. the agent can hint the learner "we have come across this issue already before";

– *competence acquisition interventions,* when the agent concludes that the learner lacks certain skills, the agent could provide the necessary information;

– *problem solving support,* this intervention consists of providing support in an ongoing problem solving process via hints and indications that bring the learner closer to the solution;

– *progress feedback.* In this intervention the agent provides the learner with information about learning progress of the game (through NPC or scoring mechanisms). This fosters monitoring and reflection on the learner's own performance.

3.2. Motivational Interventions

Pedagogical Agents could also pose some motivational interventions striving to enhance and retain the learner's motivation and engagement on a high level. A number of subtypes of this type of intervention are distinguished below:

– *praising interventions* consists of congratulating the learner after a successful completing a game level, the learner is awarded a certain scores;

– *encouraging interventions* could be applied in case of failure. To promote further attempts to find the solution, the learner is encouraged to try again by the agent;

– *incitation intervention* is to foster motivation by announcing pleasing outcomes as rewards;

– *affective interventions* foster emotional-affective aspects of the game and social interaction with other game characters;

– *attention-catchers,* if the agent detects a decreasing attention through interpretation of the learner's actions, it could introduce unexpected changes or incidents to increase variability and keep the game interesting.

3.3. Diversification of the functionality of Pedagogical Agents

For a better actualization of this intervention it could be useful to diversify the functionality of Pedagogical Agents by introducing a Sub-agent (Tutee Agent, TeA) playing a role a learner's companion as suggested in [8].While the main agent (Tutor Agent, TrA) is engaged in tracking the learner's activities and inferring learner state. The TeA initiates interactions with the learner at the appropriate times and in appropriate manners (Figure 2).

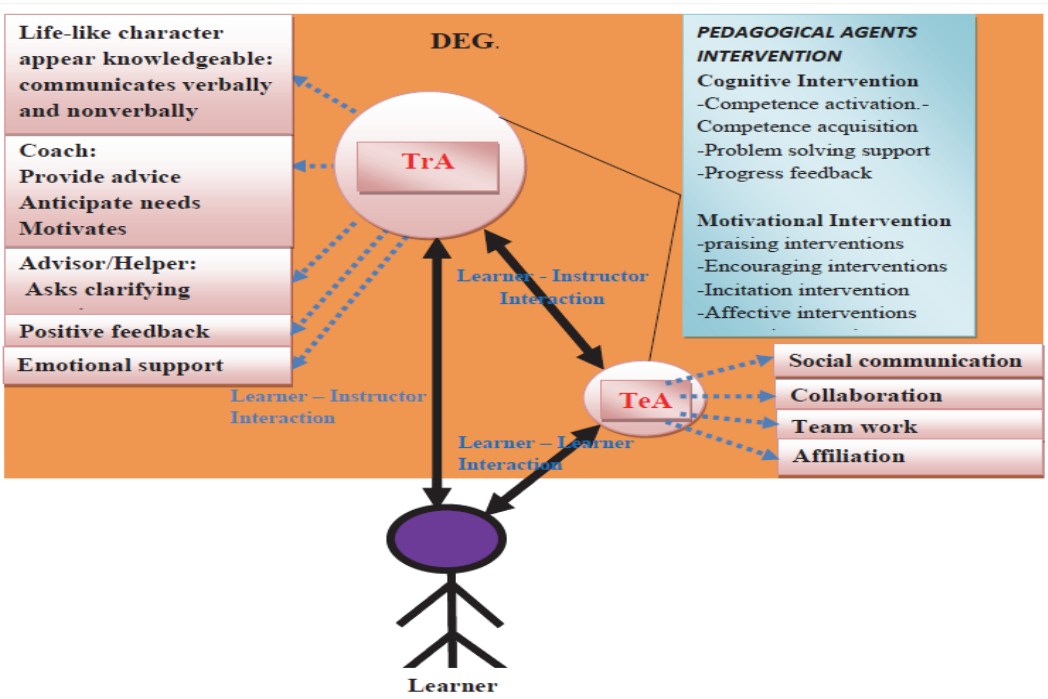


Figure 2: Improved Pedagogical Agent techniques: DEG hosting TrA and TeA

4. Examples of Games using Pedagogical Agents method

4.1. The "Teachable Agents" game

Pedagogical Agents called Teachable Agents (TAs) are implemented in adaptive educational game "Teachable Agents" [6] where the students learn by teaching the computer. The reason for using this method is allow students to capitalize on learning by teaching interaction.

Many graduate students observe they never really understood a topic until they had to teach it. To cultivate the benefits of learning by teaching, students teach their TA and then assess its knowledge by asking it questions or by getting it to solve problems. The TA uses artificial intelligence techniques to generate answers based on what it was taught. Depending on the TA's answer, students can revise their agents' knowledge.

An example of using the method is show in a screenshot from the game (Figure 3). Students teach the TA called Betty by making a concept of map. Once Betty has been taught, she can answer questions by tracing links through the concept map.

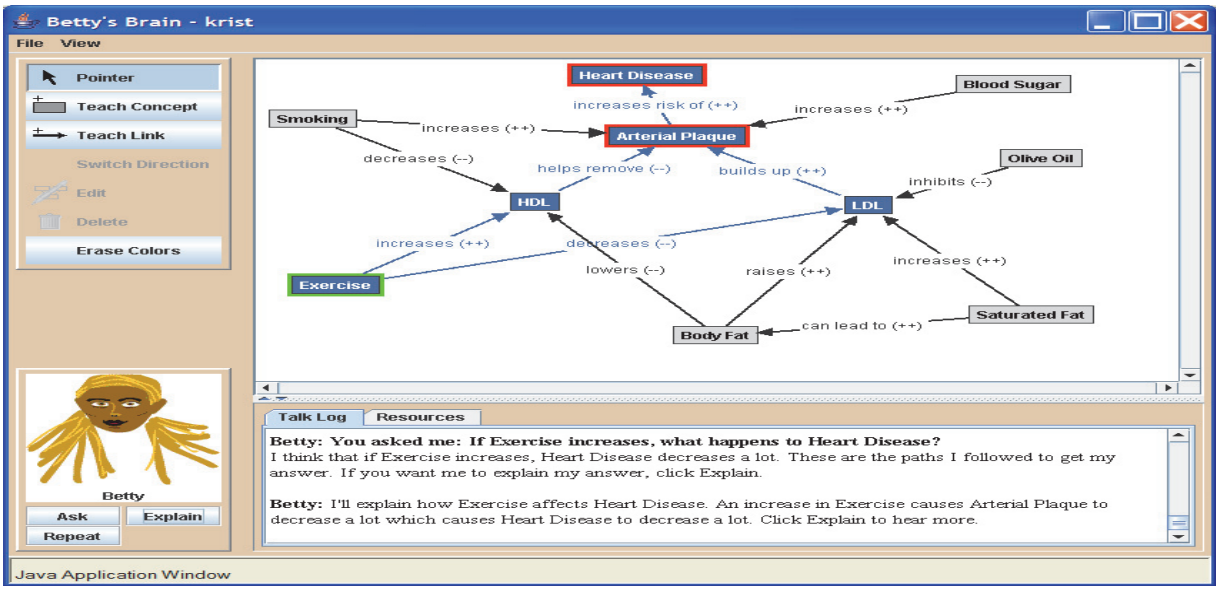


Figure 3: The Teachable Agent Betty

It helps students to organize otherwise complex human-computer interactions and learning task.

4.2. Prime Climb Game

Prime Climb [7] is an educational game designed and mainly implemented by students from the EGEMS (Electronic Games for Education in Math and Science) group at the University of British Columbia. The main goal of the game is to help grade 6 and grade 7 students learn number factorization in a highly motivating game environment (Figure 4). This game focuses on devising a student model and an animated PA for the Prime Climb game in order to facilitate learning for those students who tend to have problems profiting from this kind of environment.

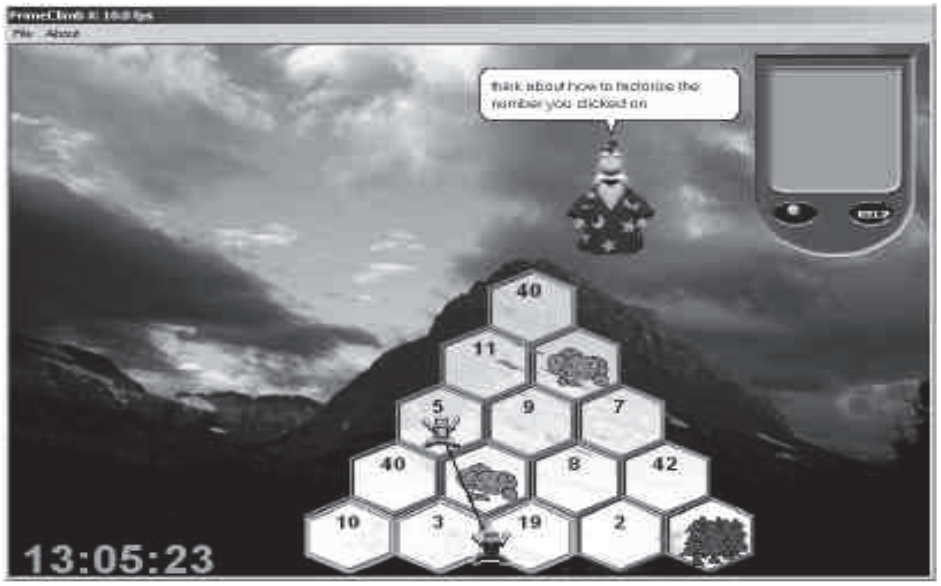


Figure 4: Screenshot from Prime Climb Game

5. Conclusion

In this paper, we highlighted the importance of boosting adaptive content in DEGs by adopting Pedagogical Agent to heighten cognitive and emotional intervention for game-based learning to become more effective in classroom teaching and learning. Our research shows the benefits from leveraging game flow to keep a learner's motivation high when playing educational games. The adaptive intervention of the PA makes the game more memorable and also enhances retention.

In our on-going project we are currently developing an educational game with PA that will be used for teaching of computer programming.

REFERENCES

1. *M. Pivec*, "Editorial: Play and learn: potentials of game-based learning," British Journal of Educational Technology, vol. 38, P. 387-393, 2007.

2. *M. Prensky*, Digital Game-Based Learning: Paragon House, St. Paul, Minnesota, USA, 2001.

3. *R. Van Eck*, "Digital Game-Based Learning: It's Not Just the Digital Natives Who Are Restless," EDUCAUSE Review, vol. 41, pp. 16–30, 2006.

4. Peter Brusilovsky. Adaptive hypermedia. User modeling and user-adapted interaction, 11(1-2):87–110, 2001.

5. *Шабалина, О.А*. 3i-подход к разработке компьютерных игр для обучения техническим дисциплинам / О.А. Шабалина, П.Н. Воробкалов, А.В. Катаев // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2011. – № 4. – С. 45–51.

6. Ben Corne. Internship report: Making existing educational games adaptive. Technical report, 2013.

7. *Blair, K. P.,* and Schwartz, D. L. (2005) Guided Discovery Games with Teachable Agents. Games, Learning and Society Conference, Madison, WI.

8. *Conati C* and Manske M. (2009). Evaluating Adaptive Feedback in an Educational Computer Game, Proc. of IVA 2009, 9th International Conference on Intelligent Virtual Agents, Lecture Notes in Artificial Intelligence 5773. Springer Verlag, P. 146-158.

9. *Ofut O.T*., and Shabalina O.A, Digital educational Games: Adopting Pedagogical Agent to Infer learner's Motivation and Emotional state, proceedings of the 7th European Conference on Game-Based Learning, Porto, Portugal, 3-4 October 2013/ institute Superior de Enginharia do Porto. - [Porto], 2013. Vol. II. – P. 546-552.

10. *Abbas, S.* & Sawamura, H. (2009). Developing an argument learning environment using agent-based its (ales). In Educational Data Mining Conference EDM'09.

11. Eliseo Reategui, Eunice Polonia, and Letícia Roland (2007). The role of animated pedagogical agents in scenario-based language e-learning: a case-study, Author manuscript, published in "Conference ICL2007, September P. 26 -28, 2007, Villach : Austria (2007)".

12. *Kim, Y.*; Baylor, A.L. Pedagogical Agents as Learning Companions: The role of agent competency and type of interaction. ETR&D, v. 54, n. 3, P. 223-243, 2006.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

УДК 004.021

Е. М. Артемьев, О. О. Привалов

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СТЕРЕОПАРЫ ПО 2D ИЗОБРАЖЕНИЮ

Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
galva@mail.ru

В работе приводится сравнительный анализ одномерных методов восстановления участков 3D сцены, полученной в результате искусственной реконструкции параллакса объектов 2D изображения по известной карте глубины. Цель исследования - определить эффективность каждого из алгоритмов, применительно к восстановлению участков изображений, имеющих различные текстурные особенности. Также ставится задача разработки метода восстановления, основанного на комплексном применении группы алгоритмов согласно некому критерию, определяющему качество получаемого результата.

Ключевые слова: стереопара, обработка изображений, параллакс, восстановление информации.

E. M. Artemev, O. O. Privalov

THE RESEARCH OF ONE-DIMENSIONAL TECHNIQUES FOR DATA RECOVERY IN THE CONSTRUCTION OF A STEREO PAIR FOR 2D IMAGE

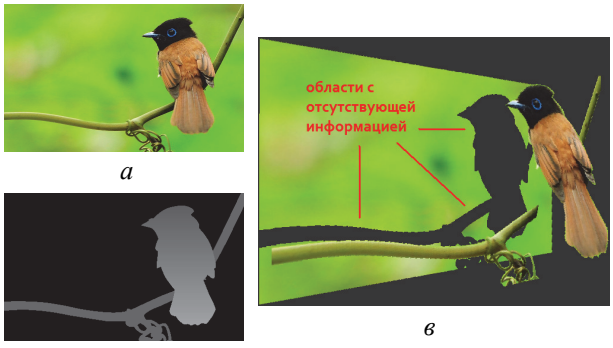
Kamyshin Technological Institute (branch of)
Volgograd State Technical University

This paper provides a comparative analysis of one-dimensional methods of restoring 3D scene parts, produced by artificial reconstruction of objects parallax in 2D images with known depth map. The purpose of the research is to determine the effectiveness of each of the algorithms with respect to the restoration of image parts with different textural characteristics. It also aims at developing a method of recovery based on the integrated use of algorithms according to some criterion that determines the quality of the result obtained.

Keywords: stereo pair, image processing, parallax, information recovery.

Пусть имеется 2D изображение сцены (рис. 1, а), и соответствующая ей карта глубины (рис. 1, *б*), тогда согласно постановке задачи восстановления параллакса, результатом преобразований будет 3D сцена, в который каждый объект или, в минимальном приближении, пиксель получит Z координату, определяемую яркостью соответствующего ему пикселя карты глубины [1].

Как видно из рис. 1, *в*, в результате преобразования, мы получаем области с отсутствующей информацией (разрывы), которые согласно требованиям практической области конвертации необходимо восстановить.



а

б

в

Рис. 1. Пример 3D сцены воссозданной по карте глубины

В работе рассматриваются автоматические методы восстановления отсутствующих областей на растровых изображениях. Основное требование, предъявляемое к методам, сводится к визуальной оценке экспертом, определяющим степень похожести восстановленной области на прилегающие к ней участки изображения, а также совокупное впечатление от комплексного визуального анализа результата 3D реконст-

рукции. Согласно специфике человеческого восприятия визуальной информации, наиболее заметными являются искажения, деформирующие прямые линии и симметричные фигуры [2].

В основе одномерных методов восстановления, лежит подход, предполагающий разбиение матрицы растра M[x,y] на x независимых столбцов или y независимых строк и последующем восстановлении.

Был проведено исследование следующих алгоритмов:

1. Линейная интерполяция [3]

С учетом условных обозначений (рис. 2) пиксели внутри разрыва заполняются по формуле:

$$I(x,y) = \frac{I(x_0,y)\cdot(len-offset) + I(x_0+len,y)\cdot offset}{len}$$

где *x, y* – координаты текущего восстанавливаемого пикселя; *I(x, y)* – пиксель изображения с координатами *x, y*. Представляет цвет пикселя в виде вектора цветовых компонент (R, G, B); *x0* – координата последнего пикселя перед начала разрыва; *len* – длина разрыва в пикселях; $offset = x - x_0$ – расстояние между текущим пикселем и началом разрыва.

В основе метода лежит подход к синтезу "бесшовных" текстур. Направленное заполнение зеркально отраженной текстурой осуществляется относительно границы имеющий меньший параллакс.

$$I(x,y) = I(x_0 + len - len\cdot dir - offset, y)$$

dir – направление копирования текстуры (+1 – слева направо, –1 – справа налево)

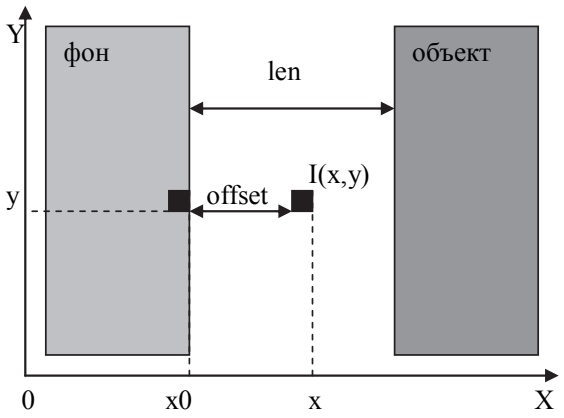


Рис. 2. Схема условных обозначений

2. Текстурное заполнение

3. Деформация текстуры

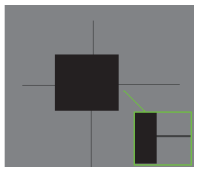
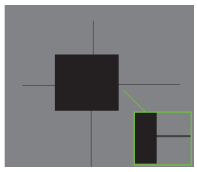
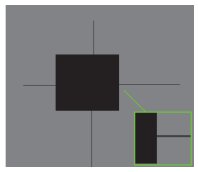
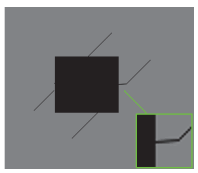
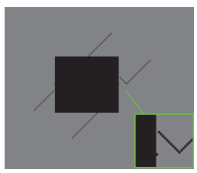
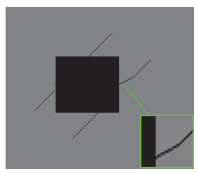
Метод основан на масштабировании участка текстуры на границе разрыва имеющей меньший параллакс, т.е. относящейся к дальним объектам.

$$I(x,y) = I(x_0 - len\cdot dir + \frac{offset}{2}, y)$$

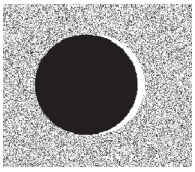
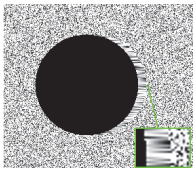
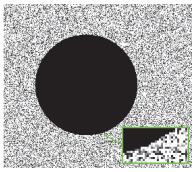
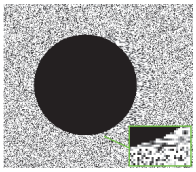
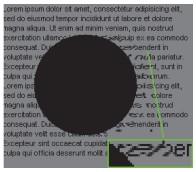
Для выполнения сравнительного анализа на вход алгоритмов подавались специально синтезированные изображения (табл. 1), содержащие участки с "критической" геометрией.

Таблица 1

Результаты экспериментов

№	Без интерполяции	Линейная интерполяция	Копирование текстуры	Деформация текстуры	Визуальная оценка
1					искажения отсутствуют
2					имеются искажения, лучший результат показал алгоритм деформации текстуры
3					искажения отсутствуют

Окончание табл. 1

№	Без интерполяции	Линейная интерполяция	Копирование текстуры	Деформация текстуры	Визуальная оценка
4					имеются искажения, лучший результат показал алгоритм деформации текстуры
5					линейная интерполяция дает явные искажения, текстурное заполнение - искажений нет, деформации текстуры - незначительные искажения
6					имеются искажения во всех методах, лучший результат показал алгоритм деформации текстуры

Результаты исследований сведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика рассматриваемых в работе алгоритмов

	Горизонтальные и вертикальные линии, перпендикулярные объекту	Наклонные линии	Горизонтальные линии, не перпендикулярные объекту	Вертикальные линии, не перпендикулярные объекту	Белый шум, имитирующий однородную текстуру	Сложная нерегулярная текстура на примере текста
Номер эксперимента	1	2	3	4	5	6
Интерполяция	+	-	+	-	--	--
Копирование текстуры	+	-	+	-	+	--
Деформация текстуры	+	+/-	+	+/-	+/-	+/-

Выводы. Использование одномерных методов восстановления недостающих участков на изображении дает положительный результат только на областях, имеющих слабовыраженную текстуру, при этом каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки, что предполагает их комплексное применение. Повышение качества результата восстановления возможно за счет комбинированного подхода, заключающегося в предварительном вычислении критерия, основанного на анализе границ области восстановления на предмет текстурных особенностей[4], а также связанности соседних пикселей по цвето-яркостному соотношению. Это даст возможность перейти от одномерного восстановления к двухмерному, учитывающему композицию объектов на изображении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Jon Karafin*. State-of-the-Art 2D to 3D Conversion and Stereo VFX International 3D Society University. Presentation from the October 21, 2011 3DU-Japan event in Tokyo.

2. *В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко*, Компьютерная обработка и распознавание изображений : учеб. пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

3. *T. Acharya, P.S. Tsai.* Computational Foundations of Image Interpolation Algorithms. ACM Ubiquity Vol. 8, 2007

4. *Жук С.В.* Обзор современных методов сегментации растровых изображений. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Т. 6. № 6. С. 115-118.

УДК 62-529

А. С. Горобцов, А. С. Дьяков, А. С. Олейников

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВИБРОЗАЩИТНЫМ ПОДВЕСОМ СО СТУПЕНЧАТЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ЖЕСТКОСТИ

Волгоградский государственный технический университет

vm@vstu.ru

В статье рассмотрен набор алгоритмов демпфирования в пневморессоре с использованием микропроцессора. Представлен базовый метод управления демпфированием, который был взят за основу. Также приведены описания разработанных алгоритмов. С их использованием были проведены эксперименты, по результатам сравнения которых была оценена эффективность алгоритмов.

Ключевые слова: алгоритм, демпфирование, пневматическая рессора, микропроцессор.

A. S. Gorobtsov, A. S. Dyakov, A. S. Oleynikov

CONTROL ALGORITHMS OF VIBROPROTECTIVE SUSPENSION WITH STEPWISE CHANGE OF HARDNESS

Volgograd State Technical University

In article set of damping algorithms in air spring using microprocessor is considered. The basic method of damping control is produced. Descriptions of developed algorithms also are cited. Experiments with their use were carried out, by comparing the results of which algorithms efficiency was estimated.

Keywords: algorithm, damping, air spring, microprocessor.

Современные средства активной виброзащиты автотранспортных средств основаны на регулировании их упругих и демпфирующих характеристик. На базе существующей микропроцесссорной техники возможно создание компактных исполнительных устройств активной системы виброзащиты, в которых будут реализованы достаточно сложные квазиоптимальные алгоритмы управления [1, 2, 4].

В настоящей работе рассматривается интеллектуальное устройства управления жесткостью пневматической подвески автотранспортного средства.

В разработанной системе управление демпфированием построено на микроконтроллере и включает датчик давления, два клапана и интерфейс сопряжения с персональным компьютером. Клапаны соединяют и разъединяют рабочую полость пневморессоры с удлиненным полым металлическим цилиндром объемом 20 л. Микроконтроллер обеспечивает две основные функции: выборку данных с датчика давления с частотой 100 Гц, управление клапанами по заданному алгоритму с последующей передачей текущего состояния виброзащитного устройства (давление и состояний клапанов) на персональный компьютер для визуализации и анализа результатов экспериментов. Параметры алгоритма управления клапанами, приведенные в табл. 1, могут настраиваться и передаются от персонального компьютера[3].

Таблица 1

Параметры алгоритма управления

Название	Описание
N	Длина фильтра скользящего среднего
ΔP_1	Наименьшее отклонение давления, с которого начинается поиск спада
ΔP_2	Наименьший спад давления для закрытия клапанов
T	Время ожидания при поиске спада давления

Программа работы модуля управления клапанами разрабатывалась на основе алгоритма «skyhook»[5]. Ее можно представить в виде конечного автомата, диаграмма состояний которого приведена на рис. 1.

Текущее значение давления всегда является усредненным среди последних N считанных значений давления. Таким образом, в системе реализуется фильтр скользящего среднего для устранения высокочастотных выбросов. При запуске системы управления, пока очередь не наполнится, модуль накапливает данные. После этого модуль переходит в состояние «Давление вблизи среднего», клапаны открываются. Если в этом состоянии отклонение текущего значения от среднего P_{av} превысит заданный порог ΔP_1, то автомат переходит в состояние «Рост кривой давления», клапаны остаются открытыми. В этом состоянии выдерживается интервал T, далее ожидается спад давления. Спад

давления фиксируется, когда разница между максимальным и текущим отклонениями станет более заданного значения ΔP_2. Как только это происходит, производится переход в состояние «Спад кривой давления», оба клапана закрываются. В этом состоянии автомат находится, пока давление снова не попадет в «зону» вблизи среднего, после чего клапаны вновь открываются, и автомат возвращается в состояние «Давление вблизи среднего».

Графически работу автомата можно представить в виде схемы, приведенной на рис. 2. Зеленым графиком представлено изменение давления. Красным – состояние клапанов: нижнее положение соответствует открытым клапанам, а верхнее – закрытым.

Рис. 1. Диаграмма состояний модуля управления клапаном

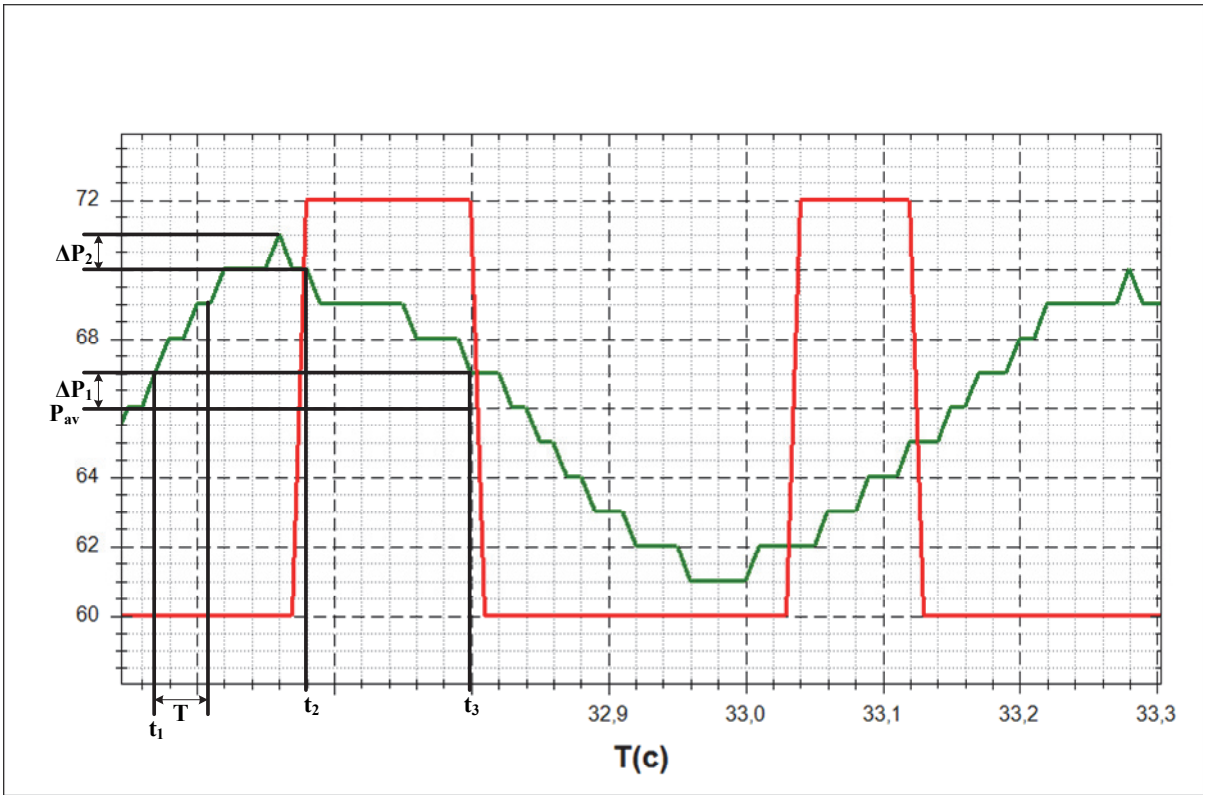


Рис. 2. Схема работы конечного автомата по алгоритму (в качестве примера приведены экспериментальные кривые)

Согласно графику на участке до t_1 автомат находился в состоянии «Давление вблизи среднего» (клапаны открыты), t_1-t_2 – состояние «Рост кривой давления» (клапаны открыты), t_2-t_3 – «Спад кривой давления» (клапаны закрыты), а после t_3 происходит возврат к состоянию «Давление вблизи среднего» (клапаны открыты).

Математически работу конечного автомата можно представить в следующем виде:

$$U(t)=\begin{cases}0, p>P_{av}, \dfrac{dp}{dt}>0;\\ 0, p>P_{av}, \dfrac{dp}{dt}<0, (p\le P_{av}+\Delta P_1) или (t-t_1<T) или (p\ge P_{\max}-\Delta P_2);\\ 1, p>P_{av}, \dfrac{dp}{dt}<0, p>P_{av}+\Delta P_1, t-t_1\ge T, p<P_{\max}-\Delta P_2;\\ 0, p<P_{av}, \dfrac{dp}{dt}<0;\\ 0, p<P_{av}, \dfrac{dp}{dt}>0, (p\ge P_{av}-\Delta P_1) или (t-t_1<T) или (p\le P_{\min}+\Delta P_2);\\ 1, p<P_{av}, \dfrac{dp}{dt}>0, p<P_{av}-\Delta P_1, t-t_1\ge T, p>P_{\min}+\Delta P_2.\end{cases}$$

Здесь U(t) – функция состояния клапанов. При U(t) = 0 клапаны открыты, при U(t) = 1 – закрыты.

Исследование возможностей и основных характеристик разработанной системы управления проводилось на испытательном стенде с пневматической подвеской по алгоритму, в который включены отдельные, но наиболее значимые параметры управления виброзащитными устройствами.

Для проверки эффективности работы алгоритма производится запись значений ускорения подрессоренной массы. Пример реализации ускорения приведен на рис. 3.

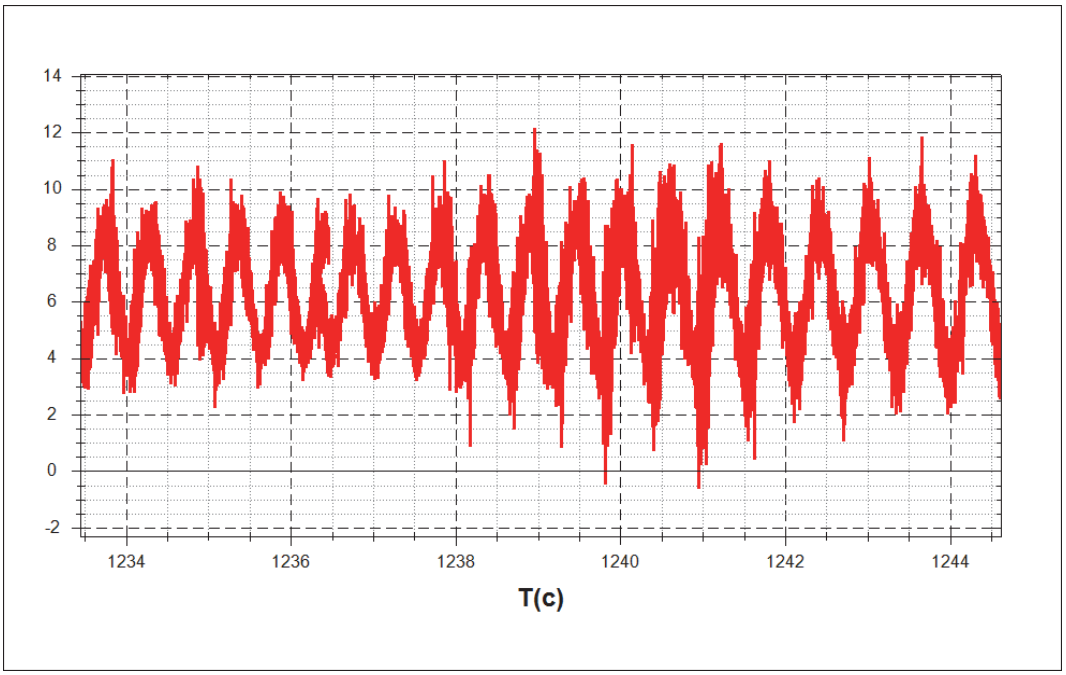


Рис. 3. Ускорение подрессоренной массы

На основе полученных данных при плавном изменении частоты колебаний от 0 до 2 Гц. были построены спектры вертикальных ускорений подрессоренной массы. Спектры без алгоритма (с открытыми клапанами) сравниваются со спектрами, полученными при использовании

алгоритма. Согласно им применение разработанной системы уменьшает среднеквадратичное отклонение на рабочем интервале частот – 0,8-1,6 Гц. – в среднем на 2,07%.

Также был проведен ряд экспериментов с другими значениями параметров алгоритма, при которых продолжительность этапа спада давления, во время которого клапаны закрыты, была больше. В этом случае СКО в среднем уменьшилось на 5,04%.

Был испробован другой вариант алгоритма: продолжительность этапа спада давления фиксирована по времени. Производились эксперименты при закрытии клапанов на 0,1 с., 0,2 с и 0,3 с. Согласно полученным результатам СКО при использовании такого варианта алгоритма было уменьшено на 31,51% при продолжительности этапа спада давления 0,1 с., 24,60% при 0,2 с., а при 0,3 с. – увеличено на 6,79%.

На рис. 4 приведены усредненные спектры ускорений подрессоренной массы при открытых клапанах (зеленый график) и при использовании описанного выше варианта алгоритма регулирования жесткости подвески (красный график) при закрытии клапанов на 0,1 с.

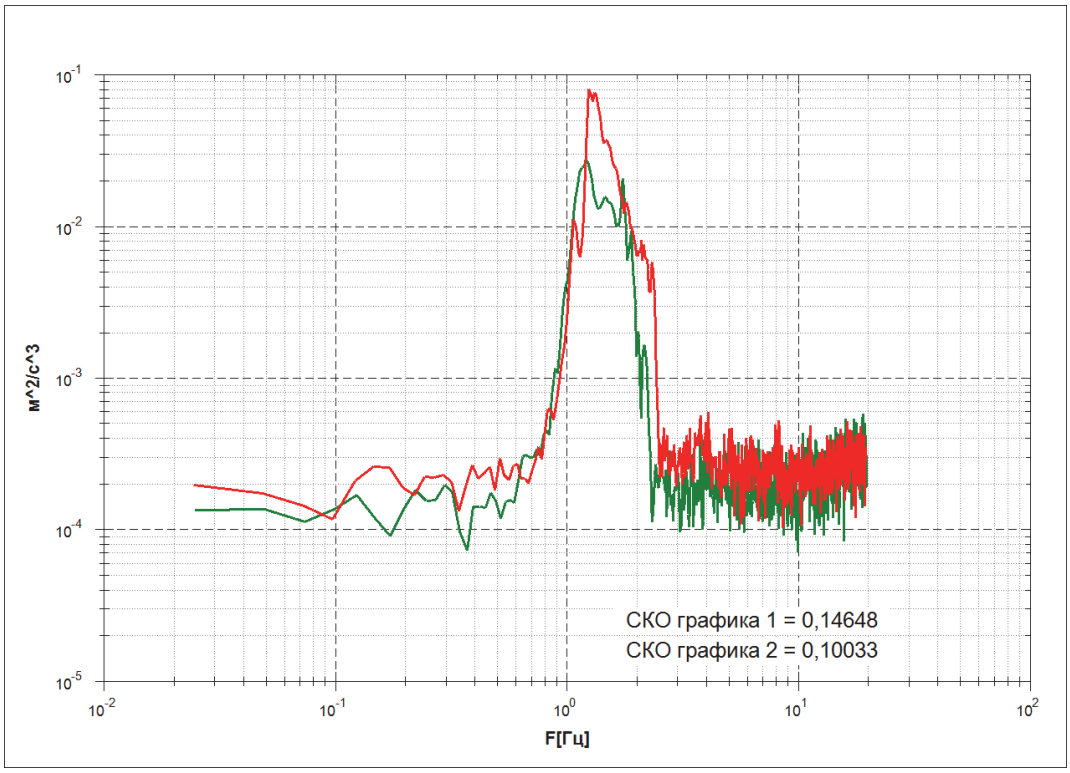


Рис. 4. Спектры ускорений подрессоренной массы. Постоянное время закрытия клапанов 0,1 с

Для учета разных скоростей движения подрессоренной массы при растяжении и сжатии был испробован доработанный алгоритм, во время работы которого среднее значение давления, относительно которого происходит изменение состояний автомата системы, изменяется на определенный коэффициент. Эксперименты с данной модификацией алгоритма проводились при значениях коэффициента 1,3 и 1,5. Среднеквадратическое отклонение вследствие данных изменений увеличилось в среднем на 4,42 % при коэффициенте 1,3 и уменьшилось в среднем на 11,49 % при коэффициенте 1,5 по сравнению со среднеквадратическим отклонением при постоянно открытых клапанах.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов можно оформить в сводную табл. 2.

Таблица 2

Сводная таблица результатов экспериментов

Вариант алгоритма	Уменьшение СКО, %
Без модификаций	2,07
Увеличенная продолжительность закрытия клапанов	5,04
Постоянное время закрытия клапанов 0,1 с.	31,51
Постоянное время закрытия клапанов 0,2 с.	24,60
Постоянное время закрытия клапанов 0,3 с.	-6,79
Увеличенное в 1,3 среднее значение давления	-4,42
Увеличенное в 1,5 среднее значение давления	11,49

Основываясь на приведенных итогах можно сделать вывод, что самый лучший результат показал вариант использования постоянного времени закрытия клапанов, причем, на самое меньшее время. Закрытие клапанов на большее время ведет к ухудшению эффекта от применения системы. Однако очевидно, что данная модификация алгоритма не будет показывать таких положительных результатов при несинусоидальных воздействиях.

Отрицательный эффект, продемонстрированный вариантом алгоритма при увеличении среднего значения давления в 1,3, требует дальнейшего изучения. При коэффициенте 1,5 применение системы показало положительный результат.

В дальнейшем планируются применение совмещенных вариантов использованных алгоритмов, а также разработка новых.

Таким образом, применение вышеописанного интеллектуального устройства управления жесткостью пневмоподвески при грамотном подборе используемого алгоритма может обеспечивать существенный эффект демпфирования колебаний подрессоренной массы. Соответственно, будет обеспечиваться более комфортное для пассажира движение автомобиля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Использование широковещательного канала для минимизации временных задержек в системе управления шагающим движителем мобильного робота / А.Д. Мохов, А.С. Олейников //

2. *Новиков В.В., Дьяков А.С., Федоров В.А*. Пневморессора с регулируемым по амплитуде и направлению воздушным демпфером // Автомобильная промышленность, 2007, №10 – с. 21-22.

3. Пневматический виброподвес с микропроцессорным управлением демпфированием / А.В. Еременко, В.Н. Скакунов, А.С. Дьяков, А.С. Олейников // Известия ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 16 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 8. – С. 31–34.

4. *Хамитов Р.Н.* Синтез системы управления импульсным электродинамическим клапаном пневмоамортизатора, Справочник. // Инженерный журнал, 2008, №2 – с.62-64.

5. *D. Karnopp, M. J. Crosby*, and R. A. Harwood, “Vibration control using the semi-active force generators”, ASME J. Eng. Ind., vol. 96, pp. 619–626, 1974.

УДК 004:677.025

А. А. Казначеева, О. В. Кочеткова, Е. Н. Ломкова, А. А. Эпов

ОНТОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВОВЯЗАНОГО ТРИКОТАЖА

Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета

ivt@kti.ru

В статье приведена онтология задачи автоматизированного структурно-параметрического проектирования основовязаного трикотажа. Основой построения онтологии является описание ее математической модели, а результатом – модель проектирования, ассоциированная с состоянием проектирования. При решении задачи генерируется множество состояний проектирования, которые в совокупности представляют пространство проектирования. Переход от одного состояния к другому в процессе поиска решения осуществляется с помощью операторов проектирования.

Ключевые слова: автоматизированное, структурно-параметрическое, проектирование, основовязаный трикотаж, онтология, модель, структура, параметр, оператор, пространство.

A. A. Kaznacheyeva, O. V. Kochetkova, E. N. Lomkova, A. A. Epov

ONTOLOGY OF AUTOMATED STRUCTURAL AND PARAMETRICAL DESIGN OF WARP-KNITTED FABRIC

Kamyshin Technological Institute (branch)
of Volgograd State Technical University

The article gives an ontology of the problem of the automated structural and parametrical design of warp-knitted fabric. The basis of the ontology creation is its mathematical model description, and the result is a design model associated with a condition of design. While solving the task a set of design conditions which in the aggregate represent design space is generated. A transition from one condition to another in the course of search of a decision is carried out with the help of design operators.

Keywords: automated, structural and parametrical, design, warp-knitted fabric, ontology, model, structure, parameter, operator, space.

Основой построения онтологии автоматизированного структурно-параметрического проектирования трикотажа служит описание его модели [1]. В общем случае структурно-параметрическое проектирование – это процесс, в результате которого определяется структура объекта и находятся значения параметров составляющих ее элементов таким образом, чтобы были удовлетворены условия задания на проектирование. Если при этом проектируемый объект получается оптимальным по какому-либо критерию, то проектирование является оптимальным.

Описание математической модели структурно-параметрического проектирования основовязаного трикотажа определяется [2]: множеством компонентов $D_k = <S, P, V_r, C, R, P_r, cf>$ и множеством моделей проектных решений $\{D_{sol\text{-}1},\dots , D_{sol\text{-}n}\}$, где S – набор элементов структуры $\{s_1,\dots , s_n\}$; P – набор параметров $\{p_1,\dots , p_n\}$; V_r – набор значений параметров $\{V_1,\dots , V_n\}$, где $V_i=\{v_{i1},\dots, v_{il}\}$ – набор значений каждого параметра; C – набор ограничений на значения $\{c_1,\dots , c_m\}$; R – набор требований, предъявляемых к модели $\{r_1,\dots , r_k\}$; P_r – набор предпочтений $\{P_{ri},\dots, P_{rj}\}$; cf – глобальная стоимостная функция.

Элемент структуры s_i определяет примитивный элемент модели проектирования. Параметр p_i характеризует тот или иной элемент структуры. Каждый параметр связывается с диапазоном значений v_i, который определяется множеством величин, присваиваемым p_i. Предположим, что существуют в среднем m возможных значений для параметра и n параметров. Тогда размер пространства проектирования N определяется по формуле $N=m^n$. Функционально зависимыми называются параметры, чье значение однозначно определено функциональными зависимостями или требованиями. Параметр, который функционально независим, называется ключевым, и его возможные значения определяются степенью свободы в процессе проектирования, т.е. действительным размером пространства проектирования [2].

Ограничения c_i определяют условия, которые не должны нарушаться проектируемым объектом. Требования r_i устанавливают свойства, которым должно удовлетворять решение. Обычно ограничения независимы, а требования, как правило, зависят от конкретного случая. В общем, ограничения и требования выражают проектные предписания, которые помогают различать конкретную результирующую модель проектирования (*МП*) от всех остальных моделей.

Предпочтения P_{ri} описывают знания задачи, которые классифицируют модели проектирования в соответствии с некоторой точкой зрения. Формально, предпочтение – это отношение частичного порядка, определенное в пространстве моделей проектирования. Различные точки зрения связаны с различными отношениями частичного порядка. Очевидно, что частичный порядок, определенный для одного предпочтения может отличаться от другого. В некоторых случаях различные точки зрения могут противоречить друг другу.

Обычно спецификация задачи структурно-параметрического проектирования включает несколько предпочтений, которые моделируют различные точки зрения для классификации результатов. Для того чтобы получить множественный критерий предпочтения, появляющийся в течение предметного анализа, обычно вводится понятие глобального предпочтения. Глобальное предпочтение g_p – это отношение частичного порядка, которое комбинирует отдельные предпочтения для обеспечения универсальной точки зрения при классификации моделей проектирования. Для удобства включают понятие глобальной стоимостной функции cf, такое, что $cf(D_j) \le cf(D_k)$, если и только если $(D_j, D_k) \in g_p$.

Глобальная стоимостная функция является критерием порядка достижения конечного состояния. Такой критерий должен конструироваться для комбинации предпочтений по стоимостному критерию. Величина стоимостной функции связана с моделью проектирования, поэтому для любых двух моделей проектирования отношение g_p можно оценить сравнением с ним стоимостей.

Рассмотрев элементы структуры, параметры и их значения, наборы требований, ограничений, предпочтений и стоимостную функцию, покажем, как определяются модели проектирования: 1) *МП* – это набор $<s_i, p_i, v_{ij}>$, где s_i – элемент структуры, p_i – параметр, характеризующий s_i и v_{ij} – определенное значение p_i в модели проектирования [3]; 2) *МП* D_k называется полной, если каждый параметр в наборе параметров P имеет значение в множестве компонентов D_k; 3) *МП* называется согласованной, если не нарушается ни одной зависимости в наборе ограничений C; 4) *МП* называется прием-

лемой, если она удовлетворяет всем требованиям R, предъявляемым к модели; 5) *МП* называется функциональной, если она является согласованной и приемлемой; 6) *МП* называется решением, если она является функциональной и полной; 7) проектное решение $D_{sol\text{-}k}$ – оптимальное, если оно является решением и не существует никакого решения $D_{sol\text{-}j}$ такого, что $cf(D_{sol\text{-}j}) < cf(D_{sol\text{-}k})$.

Обычно *МП* ассоциируется с состоянием проектирования. При решении задачи генерируется множество состояний проектирования, которые в совокупности называются пространством проектирования. При этом переход от одного состояния к другому в процессе поиска решения осуществляется с помощью операторов проектирования, которые определяются переходом между моделями проектирования. Предполагается, что операторы определяются ключевыми параметрами проектирования. Связь между состояниями проектирования в модели также описывается операторами проектирования [4].

На основе выше приведенного математического описания модели онтология автоматизированного структурно-параметрического проектирования трикотажа уточного переплетения с заданными начальными условиями имеет следующий вид [5]:

Имя задачи: *структурно-параметрическое проектирование основовязаного трикотажа уточного переплетения.*

1. Понятия: 1.1. Цель задачи → осуществить структурно-параметрическое проектирование основовязаного трикотажа уточного переплетения. 1.2. Входные параметры → матрица рисунка, раппорты рисунка по высоте и ширине, вид нити, линейная плотность нити, класс вязальной машины, раппорты сновки и проборки грунтовых и уточных гребенок, цифровые записи работы грунтовых и уточных гребенок. 1.3. Выходные параметры → средний диаметр нитей, петельный шаг, высота петельного ряда, количество петельных столбиков в 100 мм трикотажа по ширине, количество петельных рядов в 100 мм трикотажа по длине, количество грунтовых и уточных нитей в раппорте, поверхностная плотность трикотажа, теоретическая производительность вязальной машины.

2. Свойства: ограничения → допустимые значения длин грунтовых и уточных нитей в раппорте; количество игл в грунтовых и уточных гребенках; требования → малая растяжимость трикотажного полотна, незначительная усадка.

3. Правила → 1) определение параметров структуры трикотажа с учетом заработки уточных нитей; 2) определение поверхностной плотности и содержания в трикотаже уточных и грунтовых нитей.

4. Аксиомы → 1) модель проектирования закончена, когда все элементы структуры определены и все параметры означены; 2) модель проектирования определяет однозначное отображение параметров на значения; 3) модель проектирования корректна, когда все параметры связаны с допустимыми значениями; 4) модель проектирования является решением, когда она корректна и закончена.

Следует отметить, что уже на этапе создания онтологии задачи структурно-параметрического проектирования трикотажа в них присутствуют предметные знания, заданные начальной спецификацией, такие как: цель, входные и выходные параметры, требования и ограничения. При этом предметные знания представлены в онтологии задачи не конкретными значениями, а ролью этих знаний в предметной области [4]. Определенные в онтологии задачи предметные знания влияют на дальнейший выбор онтологии метода решения, и уточняются конкретными значениями при соединении онтологий задачи и принятия решения с онтологией предметной области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кочеткова О.В.* Реализация онтологического подхода в учебно-исследовательской САПР основовязаного трикотажа / О.В. Кочеткова, А.А. Казначеева // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 12. – 2011. – № 11. – С. 118 – 122.

2. *Motta E., Zdrahal Z.* Parametric Design Problem Solving. In Gaines B. And Musen M. (editors) Proceedings of the 10-th Banff Knowledgr Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop (KAW`96), Banff, Canada, November 9 – 14, 1996.

3. *Zdrahal Z., Motta E.* An In-Depth Analysis of Propose & Revise Problem Solving Methods. In B.R. Gaines and M. Musen (editors) Proceedings of the 9-th Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop. Banff, Canada, 1995.

4. *Елисеева Н.В.* Разработка метода и средств представления модели знаний в задачах автоматизированной конструкторско-технологической подготовки производства: Автореф. дис. канд. техн. наук / МГТУ «СТАНКИН». – М., 2007. – 22 с.

5. *Казначеева А.А.* Автоматизированное проектирование трикотажа основовязаных переплетений: Автореф. дис. канд. техн. наук / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – 21 с.

УДК 004.93:004.89

Д. Р. Касимов, А. В. Кучуганов

ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ ГРАФИЧЕСКОГО ПОИСКА ЧЕРТЕЖЕЙ, ОСНОВАННОЙ НА СТРУКТУРНЫХ МОДЕЛЯХ ГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ

Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова

kasden@mail.ru, Aleks_KAV@udm.ru

В статье предлагаются пути повышения качества поиска технических чертежей за счет содержательного описания изображений на основе когнитивного подхода к распознаванию образов, рассматриваются возможности основанной на нем системы комплексного графического поиска чертежей GrSearch, производится сравнение системы с ее аналогами.

Ключевые слова: технический чертеж, сопоставление образов, нечеткий пространственный нагруженный граф, лучевой граф.

D. R. Kasimov, A. V. Kuchuganov

THE POSSIBILITIES OF A TECHNICAL DRAWING RETRIEVAL SYSTEM BASED ON THE STRUCTURAL GRAPHIC PATTERN MODELS

Kalashnikov Izhevsk State Technical University

In the paper the ways to improve the technical drawing retrieval quality at the expense of the substantial image description based on a cognitive pattern recognition approach are proposed, the possibilities of the system GrSearch of the complex graphical search of technical drawings based on the approach are considered, a comparison of the system and its analogues is made.

Keywords: technical drawing, pattern matching, fuzzy spatial attributive graph, beam graph.

Ускорить процесс проектирования новых изделий можно путем эффективного применения (задокументированного) опыта, накопленного в чертежах. Стандартные средства поиска чертежей, основанные на кодах классификации, текстовых описаниях, ключевых словах и т.п., имеют ряд недостатков: субъективизм, поверхностное описание детали с акцентом на функциональное назначение, а не на ее геометрию, высокая трудоемкость создания и сопровождения архива, неудобно формулировать запросы.

На наш взгляд, заметного повышения качества поиска технических чертежей (в т.ч. архивных) можно добиться за счет создания моделей и методов распознавания образов, позволяющих:

1. Решать задачи поиска на различных, понятных проектировщикам уровнях восприятия (абстракции) графической информации, базируясь на типовых элементах машиностроения и словесных терминах.

2. Сравнивать графические объекты толерантно не только к аффинным (поворот, масштаб, симметрия), но и к топологическим преобразованиям (локальные растяжения, сжатия, изгибы) в связи с тем, что сейчас детали в основном проектируются по технологии параметрического конструирования.

3. Обнаруживать вхождения одного графического объекта в другой: часто проектировщика интересует не вся деталь, а локальное конструктивное решение в ней.

4. Оперировать составляющими графического объекта на индивидуальных уровнях нечеткости, задаваемых по устанавливаемым пользователем правилам, позволять ему классифицировать составляющие на решающие, не обязательные, исключаемые из рассмотрения. Это позволило бы пользователю более точно выражать свою поисковую потребность.

5. Фиксировать элементы сходства и отличия графических объектов. Наглядная визуализация совпавших элементов – наиболее эффективный вид обратной связи с пользователем.

В развиваемом нами подходе к распознаванию образов исходной моделью представления графического объекта является нечеткий пространственный нагруженный граф (НПНГ) [1] $G = (V, A_V, E, A_E, A_O)$, где V – множество узлов, описывающих составляющие объекта с помощью параметров A_V; $E \subseteq V \times V$ – множество ребер, отображающих пространственные отношения между составляющими с помощью параметров A_E; A_O – глобальные параметры описываемого объекта; параметры A_V, A_E, A_O имеют преимущественно

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 11-07-00632-а, 11-07-00783-а), Госзаказа МОиН РФ №4043.

нечеткое представление (лингвистические переменные, оценки сходства с типовыми конфигурациями, степени значимости).

В процессе анализа и распознавания графического объекта на базе его НПНГ строятся (неявно – во избежание лишней работы) и анализируются лучевые графы. Назовем лучевым графом (ЛГ) с центром в точке *v0* граф $GB(v0) = (VB, A_{VB}, EB, A_{EB}, A_{OB}), v0 \in VB$, в котором центральная вершина *v0* не имеет входящих дуг, а у всех остальных вершин есть одна и только одна входящая дуга [1]. Каждая вершина/ребро НПНГ – прообраз множества вершин/дуг ЛГ. Теоретически ЛГ может быть бесконечным, но практически его высота ограничивается, например, запретом повторения вершин в рамках одной ветви. Значения параметров отдельной вершины/дуги ЛГ зависят от параметров предыдущей вершины/дуги, и, в итоге, от параметров *v0*. На наш взгляд, рекурсивный анализ ЛГ из центральной вершины *v0* – это формирование и исследование по отдельным составляющим цельного образа, видимого из точки *v0* на определенную глубину.

Рассмотренный подход реализован в системе графического поиска чертежей GrSearch, основными возможностями которой являются: 1) задание запроса в форме чертежа или сканированного эскиза; 2) на чертеже-запросе искомая деталь может быть изображена полностью или частично; 3) возможность более точного выражения поисковой задачи путем настройки параметров отдельных составляющих чертежа-запроса; 4) подсвечивание совпавших элементов; 5) система распознает и может игнорировать при сопоставлении конструктивные элементы (КЭ); 6) автоматическая векторизация чертежей.

На рис. 1 представлено диалоговое окно поиска. В нем выбирается и настраивается описатель (поисковый образ) чертежного объекта, по которому будет производиться поиск. Каждый вид описателя позволяет решать поисковую задачу по-разному [2]:

1. Граф особых точек и участков (ГОТУ) внешнего контура детали. Достаточен для деталей, не имеющих внутренних элементов, а для остальных деталей хорош в плане проведения предварительного поиска.

2. Граф контуров – высокоуровневое представление для несвязных чертежных объектов, включает внешний и внутренние контуры, КЭ, другие конструктивно значимые элементы.

3. ГОТУ проекционного вида или чертежного объекта. Применяется в основном для проведения детального поиска, поиска связного фрагмента, в частности, КЭ.

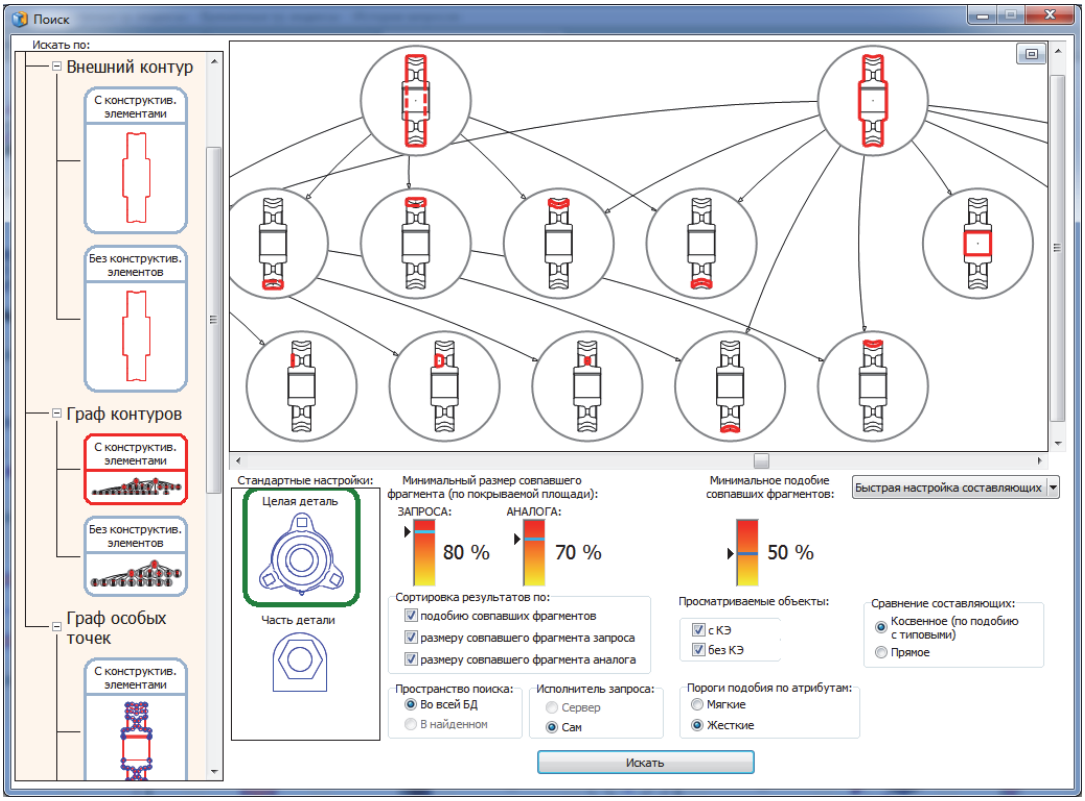


Рис. 1. Диалоговое окно поиска

Значения некоторых из параметров поиска приписываются отдельным составляющим поискового образа запроса. По-умолчанию, требования подобия по размеру и форме – средние, разрешается объединять соединяющиеся в особой точке участки в один, ни одна из составляющих не обязана входить в совпавшую часть. Поэтому исходный поисковый образ запроса выражает поисковое задание весьма расплывчато. Если по нему система не выдала ожидаемых результатов, то следует попробовать переключить параметры некоторых составляющих на строгие/слабые. Составляющие, параметры которых изменены, отрисовываются другим цветом/формой/толщиной (рис. 2).

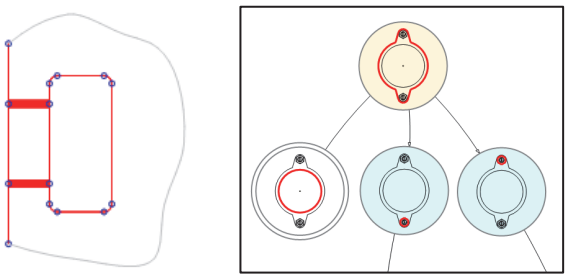


Рис. 2. Визуализация уточненных поисковых образов

На рис. 3 представлен пример результатов поиска деталей по фрагменту внешнего контура, автоматическое обведение вхождений и подсвечивание совпавших элементов.

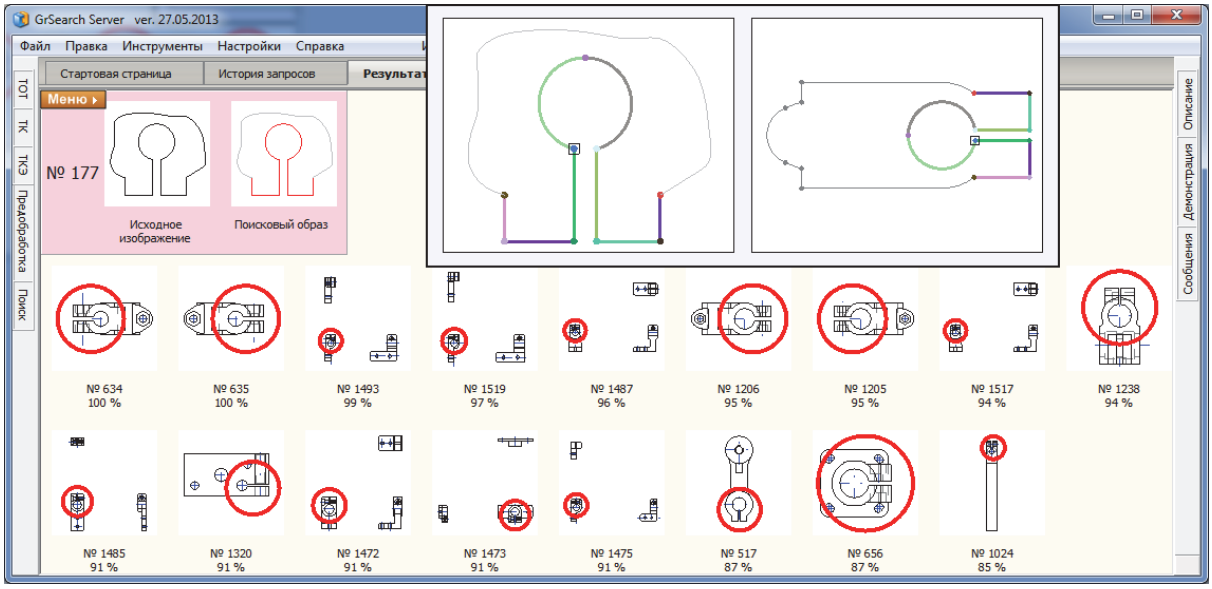


Рис. 3. Пример результатов поиска

Тестирование проводилось на базе из 7355 шт. чертежей на компьютере Intel Pentium E6800 3.33GHz, 2GB DDR3. Минимальное время поиска составляло 50 секунд, среднее – 1.5 минуты, а максимальное – 8 минут (при детальном поиске по поисковым образам третьего вида).

На рис. 4 представлен пример результата автоматической предобработки чертежа. При включенном режиме распознавания и удаления КЭ система индексирует 300 сложных чертежей за 24 минуты, а при выключенном – за 8 минут.

Рассмотрим системы-аналоги. Коммерческая система CADFind компании AST [3] основывается на представлении геометрии, материала, техпроцесса деталей в виде векторов признаков и их сопоставлении путем нечеткого сравнения.

В коммерческой системе компании Fujitsu [4] чертеж представляется атрибутивным графом, в котором узлы характеризуют примитивы (отрезки и дуги), а ребра – пространственные отношения между ними. Проблема поиска формулируется как проблема сопоставления атрибутивных графов, которое выполняется в системе путем применения теории среднего поля.

В экспериментальной системе ShapeLab университета Purdue [5] реализовано два метода сопоставления чертежей. В первом методе чертежи представляются как сферические функции; для их сравнения применяется быстрое преобразование. Во втором статистическом методе чертеж представляется как распределение расстояний между парами случайно выбираемых точек; для измерения подобия между двумя такими гистограммами используется расстояние Минковского.

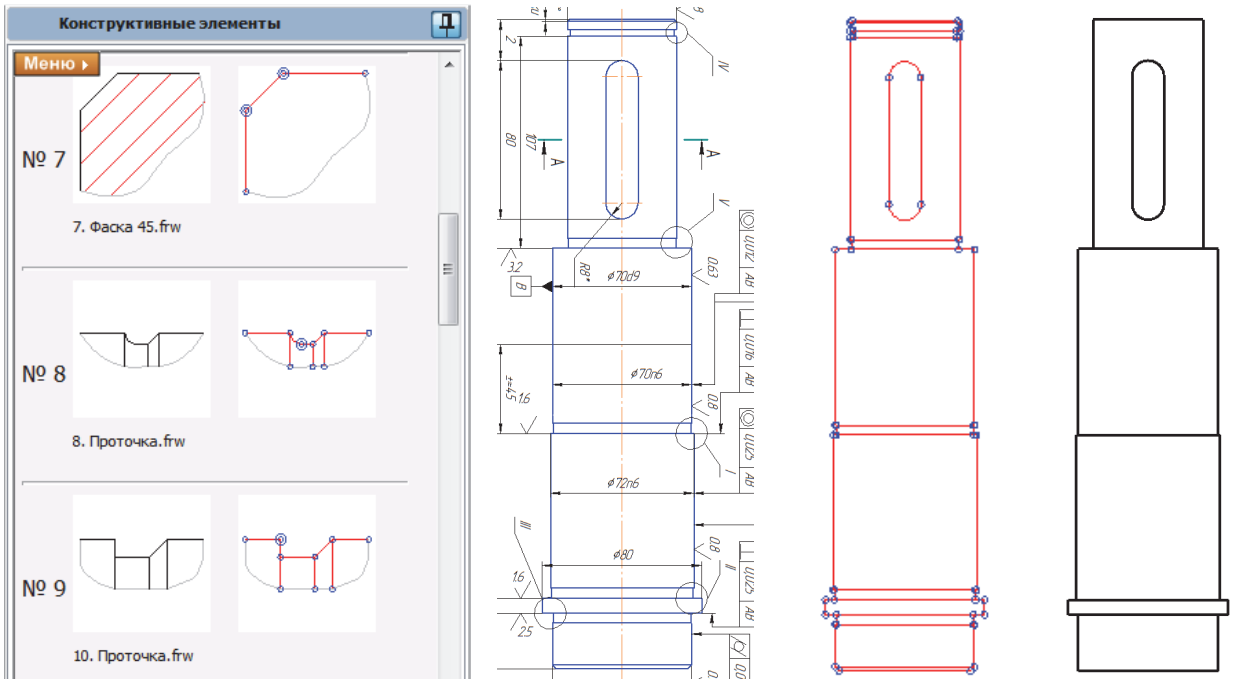


Рис. 4. Автоматическое распознавание и удаление КЭ:
а – база образов типовых КЭ; *б* – исходный чертеж; *в* – ГОТУ объекта чертежа; *г* – объект чертежа после удаления КЭ

Другая система из университета Purdue [6] нацелена на структурное сопоставление внешних контуров деталей. Исходный контур раскладывается на два уровня: особые точки и группы элементов между ними. Уровни ассоциируются друг с другом посредством таблицы соответствия. Сопоставление контуров осуществляется в два шага: 1) генерация вариантов соответствия особых точек; 2) выбор лучшего варианта, в котором подобие цепочек элементов между особыми точками максимально.

Экспериментальная система SIBR Лиссабонского университета [7] основывается на представлении проекционного вида детали в виде двух дескрипторов: топологического и геометрического. Топологический дескриптор строится по графу полигонов чертежа (узлы – изолированные полигоны, выделенные на чертеже, ребра - отношения включения и касания между полигонами). Геометрический дескриптор – многомерный вектор, хранящий геометрические характеристики полигонов, такие как отношения площади, периметра и др. С целью поддержки поиска не только полных чертежей, но и их частей, для каждого чертежа в хранилище генерируются и преобразуются в дескрипторы различные варианты фрагментов и различные уровни детализации чертежа. Поиск является двухэтапным: сначала по топологическим, а затем по геометрическим дескрипторам.

На рис. 5 представлены результаты работы нашей системы на тех же материалах, на которых тестировалась система структурного сопоставления контуров [6], более близкая по идеологии к нашей системе, чем остальные.

Создатели приведенного теста оценивали надежность сопоставления в случаях, когда детали значительно различаются локальными растяжениями и/или изгибами, но при этом имеют глобальное сходство. С нашей точки зрения, выборка не совсем адекватна практическим поисковым задачам, чувствуется ее малый объем. В нашей системе этот тест мы проводили с ослабленными требованиями подобия.

В табл. 1 представлено сравнение возможностей описанных систем графического поиска чертежей.

Ни одна из рассмотренных систем-аналогов не способна в полной мере удовлетворить потребности проектировщиков. Во-первых, все системы, кроме [6], абсолютно не прозрачны, т.е. пользователю трудно понять, почему система выдала тот или иной результат, и, следовательно, сложно наладить с ней более эффективное взаимодействие. Во-вторых, все системы плохо управляемы, т.е. не позволяют пользователю точнее выразить свою поисковую потребность в случае, когда система выдает неадекватные результаты.

а *б*

Рис. 5. Тестирование поиска деталей по внешнему контуру:
а – результаты [6]; *б* – результаты нашей системы GrSearch

Сравнение возможностей систем графического поиска чертежей

	CADFind [3]	Система компании Fujitsu [4]	ShapeLab [5]	Система [6]	SIBR [7]	Наша система GrSearch
Поиск чертежей	+	+	+	+	+	+
Поиск 3D моделей	+	+	+	–	–	путем проецирования на чертеж
Извлечение 3D объектов из чертежа	–	–	–	–	–	+
Виды деталей	любые	любые	любые	без внутр. элем-ов	пресс-формы	любые, при этом индивид. подход
Обработка разрезов	?	–	–	–	–	+
Эскизы от руки	–	+	+	?	+	+ если эскиз аккуратный
Доп. разметка запроса	–	–	–	– но метод позволяет	–	+

Окончание таблицы

	CADFind [3]	Система компании Fujitsu [4]	ShapeLab [5]	Система [6]	SIBR [7]	Наша система GrSearch
Подсвечивание совпавших элементов	–	Только обрамление	–	+	–	+
Поиск по фрагменту	–	+	–	– но метод позволяет	+	+
Быстродействие	высокое	среднее	высокое	среднее	высокое	низкое

Таким образом, наша система обладает несравнимо большим числом важных возможностей и потенциалом дальнейшей интеллектуализации, чем ее аналоги. В настоящее время система проходит предварительную апробацию на промышленном предприятии с целью выявления и устранения недостатков интерфейса задания запросов, интеграции в реальную информационную среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Kuchuganov, A.V.* Recursions in Image Analysis Problems. / A.V. Kuchuganov. // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2009. – Vol. 19, № 3. – P. 501-507.

2. *Кучуганов, А.В.* Графический поиск чертежей в хранилищах данных. / А.В. Кучуганов, Д.Р. Касимов. // Прикладная информатика. – 2012. – № 2. – С. 84-92.

3. *Barton, J.* Retrieving Designs from a sketch using an automated GT coding and classification system. / J. Barton, D. Love. // Production Planning and Control. – 2005. – Vol. 16, № 8. – P. 763-773.

4. *Liu, R.* Attributed Graph Matching Based Engineering Drawings Retrieval. / R. Liu, T. Baba, D. Masumoto. // Document Analysis Systems VI - Proc. of the 6th Int. Workshop. – 2004. – P. 378–388.

5. *Pu, J.* On visual similarity based 2D drawing retrieval. / Jiantao Pu, Karthik Ramani. // Computer-Aided Design. – 2006. – Vol. 38, № 3. – P. 249–259.

6. *Hou, S.* Structure-oriented Contour Representation and Matching for Engineering Shapes. / Suyu Hou, Karthik Ramani. // Computer-Aided Design. – 2008. – Vol. 40, № 1. – P. 94-108.

7. *Fonseca, M.J.* Content-Based Retrieval of Technical Drawings. / M.J. Fonseca, A. Ferreira, J.A. Jorge. // Int. Journal of Computer Applications in Technology. – 2005. – Vol. 23, № 2-3. – P. 86-100.

УДК 004.89

Д. М. Коробкин, С. А. Фоменков, С. Г. Колесников

АЛГОРИТМ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ОБЛАСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ*

Волгоградский государственный технический университет

dkorobkin80@mail.ru, saf@vstu.ru, sk@vstu.ru

В данной работе тематическая фильтрация электронных документов основана на предварительном многоэтапном алгоритме кластеризации: на первом этапе для сокращения пространства признаков используются карты Кохонена (SOM), на втором этапе применяется алгоритм FOREL для автоматического определения числа кластеров. Определение тематики в соответствии с разработанным алгоритмом осуществляется по частотному портрету документа и весам нейронной сети. Осуществленная проверка эффективности работы созданной системы фильтрации показала высокую точность и полноту тематической фильтрации электронных документов.

Ключевые слова: тематическая фильтрация, кластерный анализ, SOM, FOREL.

D. M. Korobkin, S. A. Fomenkov, S. G. Kolesnikov

ALGORITHM OF PHYSICAL KNOWLEDGE CLUSTERING

Volgograd State Technical University

In this paper describes process of documents filtering based on multi-stage clustering algorithm: in the first stage decreasing of feature space dimension by Kohonen maps (SOM), the second step is applied FOREL algorithm for automatic determination of the number of clusters. Identifying of documents topic produced on the base of frequency portrait of documents and weights of neural network. Checking the efficiency of the filtering system has demonstrated high precision and recall.

Keywords: filtering, clustering, SOM, FOREL.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 13-01-00302 –а, 13-07-97032 р_поволжье-а)

Введение

Практика работы с большими объемами информации (массивами текстовых документов) показала необходимость [1] разнести источники информации по тематическим группам, чтобы сделать ее доступной для восприятия. Кластеризация – это автоматическое разбиение элементов некоторого множества документов на категории (кластеры) по принципу схожести. Фильтрация - разбиение множества документов на две категории: документы, удовлетворяющие заданному критерию, и документы, не удовлетворяющие критерию. Частным случаем фильтрации является задача тематической фильтрации - выявления документов, соответствующих заданной тематике, за счет отсева прочих документов. Для области физических знаний необходимо изначально выявить структуру массива документов, критерии разбиения документов, с помощью кластерного анализа это возможно без задания количества классов (тем). На начальном этапе производится кластерный анализ документов, затем строится тематический фильтр. Рассмотрим существующие методы кластерного анализа, представленные в таблице.

Сравнительный анализ алгоритмов фильтрации

Алгоритм	Вид метода	Инкрементность	Обучение	Матрица близости	Вычислительная сложность, где N – число документов	Устойчивость к «шуму»
STC	Нечисловой	+	–	–	O(k2*N), k-количество тематик	–
FOREL	Числовой	+	–	+	O(N*k), k – количество тематик	–
SOM	Числовой	+	+	+	1) $O(N^2*m)$ 2) O(N*m*log m) 3) $O(N^2*m)$, m – количество выходных нейронов	+
ART	Числовой	+	+	+	O(N*m*log N), m – кол-во выходных нейронов	–
LSA /LSI	Числовой	+	–	+	$O(N^2*x*k)$,где N=Ndocs+Nterms, k – размерность пространства факторов	+
PLSI	Числовой	–	–	+	$O(N^2*x*k)$, N=Ndocs+Nterms, k – размерность пространства факторов	+
CI	Числовой	–	–	+	обучемый - $O(N^2*k)$, необучаемый - O(N*log k), k-количество тематик	–

В результате обзора и анализа методов фильтрации было выявлено, что наиболее приемлемым решением является алгоритм SOM по причине наивысшей точности за счет использования нейросетевого подхода.

Можно использовать следующие модели представления электронных документов в пространстве признаков: n-граммная модель и модель терм-документ. В данной работе была выбрана модель терм-документ, которая позволяет в отличие от n-граммной модели учитывать морфологию и производить очистку от часто встречающихся слов («шума»).

Методика тематической фильтрации электронных источников

Методика тематической фильтрации [2,3] электронных документов приведена на рис. 1. Были сформулированы следующие требования к алгоритму: автоматическое определение числа кластеров; не более чем логлинейный рост времени работы с увеличением количества текстов; минимальная настройка со стороны пользователя.

На основании требований к алгоритму был разработан многоэтапный алгоритм кластеризации: на первом этапе для сокращения пространства признаков используются карты Кохонена (SOM), на втором этапе применяется алгоритм FOREL для автоматического определения числа кластеров.

Методика представления документов в пространстве признаков

TF-IDF (*TF* — term frequency, *IDF* — inverse document frequency) – статистическая мера, используемая для оценки важности слова в кон-

тексте документа, являющегося частью коллекции документов. Вес некоторого слова пропорционален количеству употребления этого слова в документе, и обратно пропорционален частоте употребления слова в других документах коллекции.

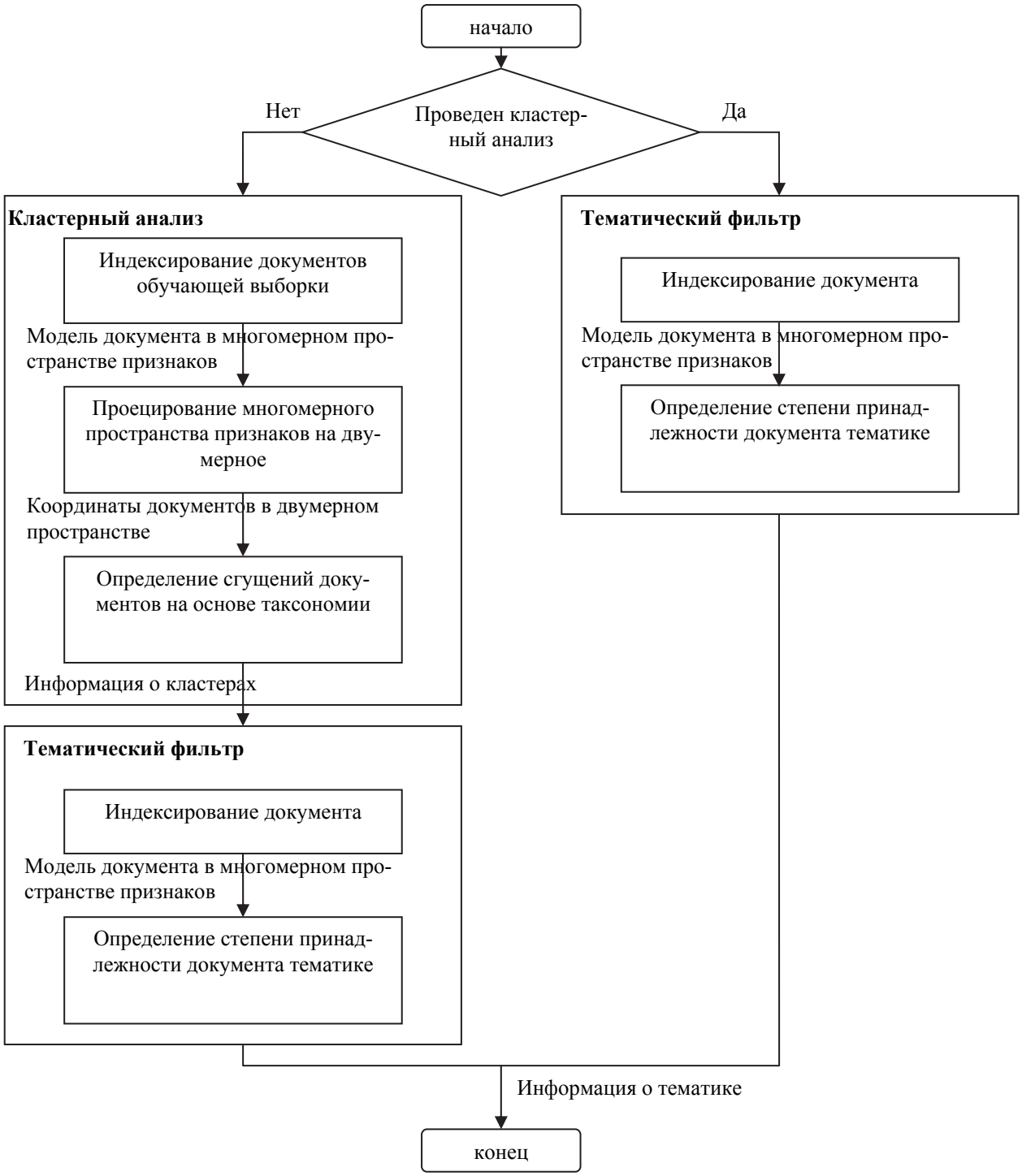


Рис. 1. Методика тематической фильтрации документов

Для представления документов в пространстве признаков в качестве центральной процедуры будем использовать модель термин-документ [4].

Для каждого документа коллекции была произведена следующая предварительная обработка: стемминг (получение словоформ); удаление стоповых слов (цифры, предлоги, некоторые наречия, союзы, одиночные буквы, а также слова, не несущие смысловой нагрузки).

Для понижения значимости словоформ, которые встречаются почти во всех документах, используем инверсную частоту термина *IDF* (inverse document frequency) (1). Значение этого параметра тем меньше, чем чаще словоформа встречается в документах базы данных. Таким образом, для словоформ, которые встречаются в большом числе документов *IDF* будет близок к нулю (если словоформа встречается во всех документах *IDF* равен нулю), что помогает выделить важные словоформы.

$$IDF = \log \frac{|D|}{|D_t|} \qquad (1)$$

$|D|$- число всех документов, $|D_t|$ - число документов, содержащих некоторую словоформу *t*.

Параметр *TF* (term frequency) (2) – это отношение числа раз, которое некоторая словоформа *t* встретилась в документе *d*, к длине документа. Нормализация длиной документа нужна для того, чтобы уравнять в правах короткие и длинные документы.

$$TF = \frac{n_i}{\sum_k n_k} \qquad (2)$$

n_i - число вхождений словоформы в документ, $\sum_k n_k$ – общее число словоформ в данном документе.

В коэффициент *TF*IDF TF* играет роль повышающего множителя, *IDF* – понижающего. Тогда весовыми параметрами векторной модели документа можно принять коэффициенты *TF*IDF* входящих в него словоформ.

При использовании данного представления документов в пространстве признаков семантика документа сводится к лексической семантике входящих в него терминов. Таким образом, ключевыми будем считать словоформы, набравшие наибольший вес, то есть словоформы с наибольшим значением коэффициента *TF*IDF*. Для отсечения ключевых словоформ от тех, у которых коэффициент *TF*IDF* незначителен, вычисляем точку игнорирования, которая равна среднему значению частоты входящих в документ слов. Точка игнорирования рассчитывается для каждого документа из рассматриваемой выборки. В результате анализа составляется частотный портрет каждого документа, состоящий из коэффициентов *TF*IDF*.

Разработанная методика индексирования текстовых документов представлена на рис. 2.

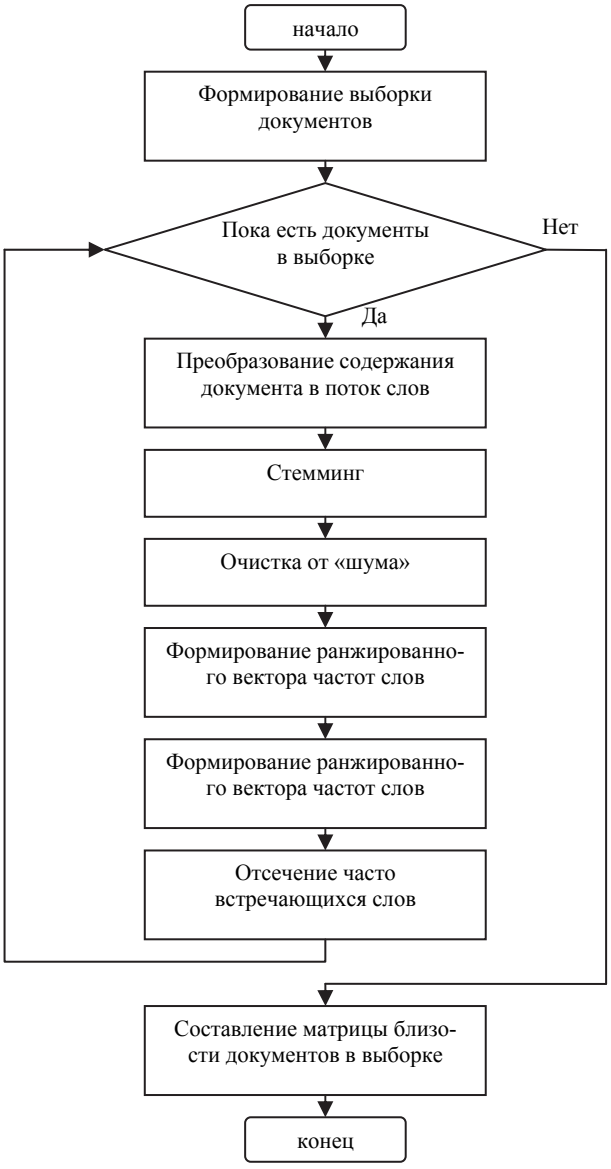


Рис. 2. Методика индексирования текстовых документов

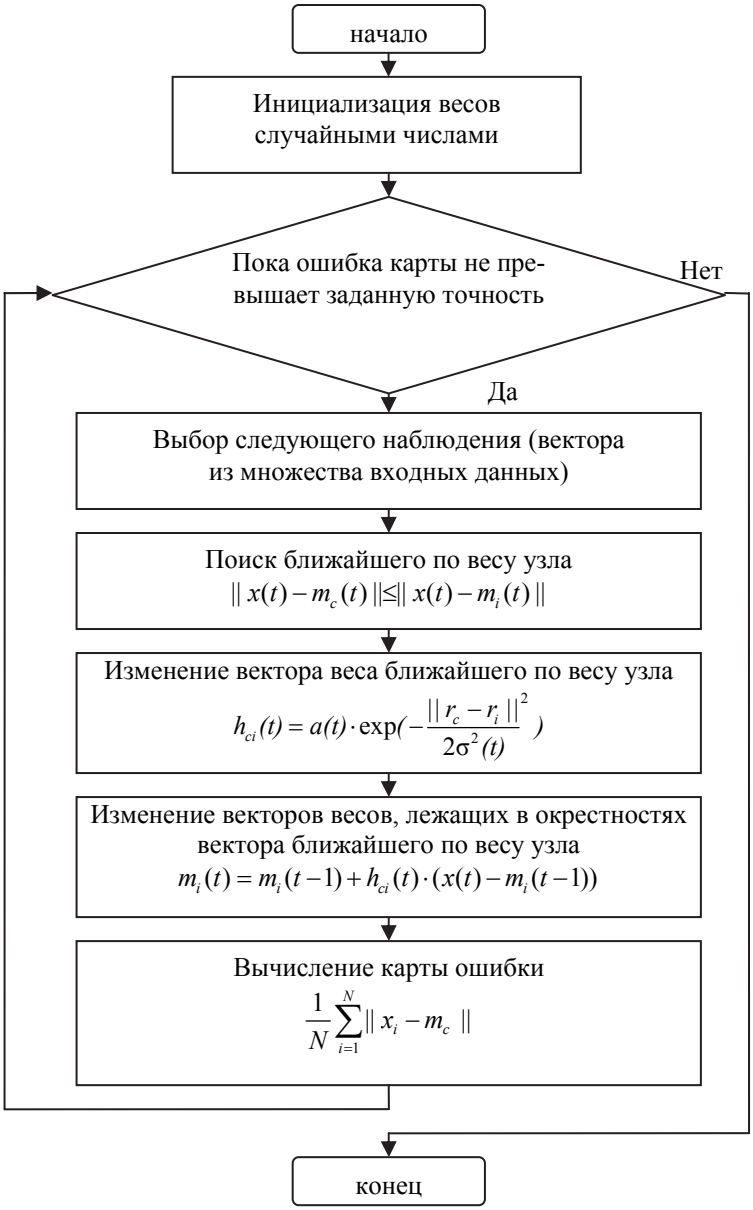
Преимущества разработанной модели заключаются в том, что в ней содержится несколько этапов предварительной обработки, что делает поиск ключевых слов более точным. Дополнение данного алгоритма стеммингом потока слов позволяет существенно сократить количество терминов.

Первый этап кластерного анализа электронных документов

На первом этапе кластерного анализа будем применять разновидность алгоритма нейронных сетей Кохонена - карты SOM (Self-Organizing Map).

На вход данного алгоритма подаются вектора матрицы *TF*IDF* для каждого документа. SOM (рис. 3) подразумевает использование упорядоченной структуры нейронов. Была использована двумерная сетка, при этом каждый

нейрон представляет собой *n*-мерный вектор-столбец, где *n* определяется размерностью исходного пространства (размерностью входных векторов). Нейроны располагаются в узлах двумерной сетки с прямоугольными ячейками. При этом нейроны также взаимодействуют друг с другом. Величина этого взаимодействия определяется расстоянием между нейронами на карте.



t –	номер итерации
x(t)	произвольное наблюдения (вектор из множества входных данных)
$M_c(t)$	ближайший по весу узел
$m_i(t)$	вектор веса узла $M_i(t)$
$h_{ci}(t)$	определяет «меру соседства» узлов $M_i(t)$ и $M_c(t)$ и изменение векторов веса
$\alpha(t)$	обучающий сомножитель, монотонно убывающий с каждой последующей итерацией
r_i, r_c	координаты узлов $M_i(t)$ и $M_c(t)$ на карте
$\sigma(t)$	сомножитель, уменьшающий количество соседей с итерациями, монотонно убывает
N	количество элементов набора входных данных

Рис. 3. Алгоритм SOM

Алгоритм, основанный на картах Кохонена, позволяет спроецировать многомерное пространство признаков на двумерное, а также представить результат в виде координат документов на двумерной плоскости.

Второй этап кластерного анализа электронных документов

Группируя объекты, необходимо руководствоваться некоторым критерием F (3). Алгоритм должен допускать только такую группировку, которая удовлетворяет критерию F. Иными словами, следует конкретизировать понятие сходства, «схожести» объектов.

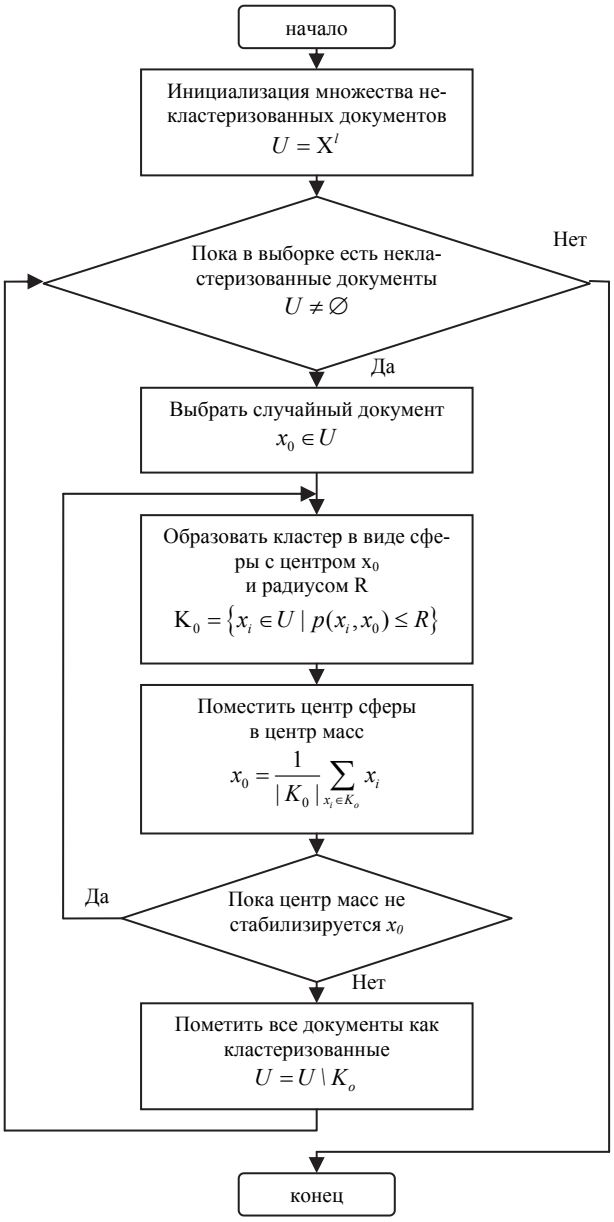


Рис. 4. Алгоритм FOREL

Если считать, что признаки объектов заданы в сильных шкалах, то можно работать в метрических пространствах. В частности, можно в евклидовом многомерном пространстве признаков ввести расстояние между точками.

Пусть $$F = \sum_{i}^{k} p^i(C^i, a_i) \qquad (3)$$

$C^i = (x_1^i, x_2^i, ...x_i^i, ...x_n^i)$ - координаты центра тяжести i-го таксона, $p_i^j(C^j, a_i)$ - расстояние между центром тяжести и произвольной точкой a_i, $p^j = \sum_{i=1}^{m_i} p_i^j(C^j, a_i)$ - сумма таких расстояний j-го таксона.

Смысл критерия похожести на центр состоит в том, чтобы найти такое разбиение m объектов на k таксонов, при котором F минимальна. На втором этапе кластерного анализа будем применять алгоритм FOREL (рис. 4). В результате данного этапа кластеризации получаются кластеры с координатами их центров (центроиды).

Данные, полученные на этом этапе вместе с соответствующими для каждого центроида весами, необходимо сохранять для дальнейшего использования в алгоритмах фильтрации электронных документов.

Тематическая фильтрация электронных документов

На этапе тематической фильтрации также составляем семантическое описание документа, а именно – частотный портрет документа.

Далее определяется принадлежность документа одной из тематик (кластеров), выделенных на этапе кластеризации электронных документов. Данную принадлежность можно определить по теореме косинусов, где векторами являются n-мерные векторы весов нейронной сети центроидов кластеров и n-мерный вектор частотного портрета документа, для которого необходимо определить тематику. В результате определяем тематику (кластер) документа по наибольшему значению косинуса между векторами. Определение тематики в соответствии с разработанным алгоритмом по частотному портрету и весам нейронной сети показано в табл. 2.

Таблица 2

Определение тематики документа

Документ (частотный портрет)	Косинус угла	Тематика (веса обученной нейронной сети)	Номер кластера
0.85x0.1x0.02x0.93x….	0.43	0.15x0.8x0.02x0.73x….	1
	0.47	0.5x0.1x0.02x0.95x…	2
	0.3	0.01 0.7x0.8x0.93x….	3
	0.7	0.9x0.1x0.02x0.95x….	4

Результаты

Эффективность системы проверялась на специально созданном тестовом массиве документов:

• 60 документов, не принадлежащих тематике «Физика»

• 20 документов, имеющих в своем составе как материал по тематике «Физика», так и по другим дисциплинам (частично относящимся к тематике «Физика»);

• 100 документов, принадлежащих тематике «Физика».

Существует много способов оценить насколько хорошо документы, найденные ИПС, соответствуют запросу. К сожалению, понятие степени соответствия запроса, или другими словами релевантности (степени соответствия запроса и найденного), является субъективным понятием, а степень соответствия зависит от конкретного человека, оценивающего результаты выполнения запроса.

1) Точность (Precision) (4) - отношение числа релевантных документов, найденных ИПС, к общему числу документов найденных ИПС:

$$\text{Precision} = \frac{|\text{Rel} \cap \text{Retr}|}{|\text{Retr}|}, \qquad (4)$$

где Rel — это множество релевантных документов в массиве, а Retr – множество документов, найденных ИПС.

2) Полнота (Recall) (5) - отношение числа найденных релевантных документов к общему числу релевантных документов в массиве:

$$\text{Recall} = \frac{|\text{Rel} \cap \text{Retr}|}{|\text{Rel}|}, \qquad (5)$$

3) Выпадение (Fall-out) (6) характеризует вероятность нахождения нерелевантного ресурса и определяется как отношение числа найденных нерелевантных документов к общему числу нерелевантных документов в массиве:

$$\text{Fall} - \text{out} = \frac{|\text{NRel} \cap \text{Retr}|}{|\text{NRel}|}, \qquad (6)$$

где NRel – это множество нерелевантных документов в массиве.

4) F-мера (F-measure) (7) объединяет точность и полноту поиска в одной усредненной величине. F-мера определяется как взвешенное гармоническое среднее точности P и полноты R:

$$F = \frac{1}{\alpha \frac{1}{P} + (1-\alpha)\frac{1}{R}}, \alpha \in [0,1] \qquad (7)$$

С точки зрения последовательной фильтрации по тематике «Физика» и на наличие в тексте электронных документов по учебному курсу имеем количество релевантных документов в массиве документов Rel = 100, количество нерелевантных документов NRel = 80.

В результате тематической фильтрации получаем следующие результаты: (D^{rel}_{retr} и D^{nrel}_{retr} – количество прошедших через фильтр соответственно релевантных и нерелевантных документов, D_{retr} - количество документов, найденных системой, точность $\text{Precision} = \frac{|D^{rel} \cap D_{retr}|}{|D_{retr}|} = \frac{|D^{rel}_{retr}|}{|D^{rel}_{retr} + D^{nrel}_{retr}|}$, полнота $\text{Recall} = \frac{|D^{rel} \cap D_{retr}|}{|D^{rel}|} = \frac{|D^{rel}_{retr}|}{|D^{rel}|}$, вероятность отбора нерелевантного ресурса $\text{Fall} - \text{out} = \frac{|D^{nrel} \cap D_{retr}|}{|D^{nrel}|} = \frac{|D^{nrel}_{retr}|}{|D_{nrel}|}$ и сбалансированное взвешенное гармоническое среднее точности и полноты $F - measure = \frac{\text{Pr}ecision * \text{Re}call}{\text{Pr}ecision + \text{Re}call}$ (табл. 3).

Таблица 3

Результаты работы тематического фильтра

Показатели	Значение (итерация 1)	Значение (итерация 2)	Значение (итерация 3)
D^{rel}_{retr}	97	95	96
D^{nrel}_{retr}	3	4	3
D_{retr}	100	99	99
Precision	0,97	0,96	0,97
Recall	0,99	0,98	0,98
Fall-out	0,05	0,06	0,05
F-measure	0,49	0,475	0,49

Выводы

В данной работе была показана разработанная методика фильтрации

[5, 6] электронных документов, основанная на предварительном многоэтапном алгоритме кластеризации: на первом этапе для сокращения пространства признаков используются карты Кохонена (SOM), на втором этапе применяется алгоритм FOREL для автоматического определения числа кластеров. Осуществленная проверка эффективности работы созданной методики фильтрации [7, 8] показала высокую точность и полноту тематической фильтрации электронных документов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Коробкин, Д.М.* Методика выделения структурированной физической информации в виде физических эффектов из текста / Коробкин Д.М., Фоменков С.А. // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 10. – С. 35–39.

2. *Фоменков С.А.* Методика модификации информационного обеспечения базы данных физических эффектов / Фоменков С.А., Колесников С.Г., Коробкин Д.М. // Известия Волгоградского государственного технического университета, 2012. – Т. 10. № 14. – С. 166–170.

3. *Коробкин Д.М., Чекашкина К.С., Фоменков С.А.* Методика извлечения описаний физических эффектов. // В межвузовском сб. научных статей «Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып.16». - Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2013, №8(111), с. 152-154.

4. *Dmitriy Mikhaylovich Korobkin, Sergey Alexeevich Fomenkov, Sergey Grigoryevich Kolesnikov and Yulia Alexandrovna Orlova.* A Multi-Stage Algorithm for Text Documents Filtering Based on Physical Knowledge // World Applied Sciences Journal 24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society), 2013, p. 91-97.

5. *Попов М.Ю.* Предметно-ориентированный анализ текстовых документов на примере системы поиска описаний физических эффектов / Попов М.Ю., Коробкин Д.М., Фоменков С.А. // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2005. – № 6. – С. 20–24.

6. *Крапивина Н.В., Коробкин Д.М.. Фоменков С.А.,* Автоматизация фильтрации электронных первоисточников по признаку знаний о нанотехнологиях и выявление описаний нанотехнологий. //В межвузовском сб. научных статей «Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып.14». - Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2012, №10(97), с. 161-166.

7. *Dmitriy Mikhaylovich Korobkin, Sergey Alekseevich Fomenkov, Sergey Grigoryevich Kolesnikov and Yuriy Fedorovich Voronin.* System of Physical Effects Extraction from Natural Language Text in the Internet //World Applied Sciences Journal 24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society), 2013, p. 55-61.

8. *Коробкин Д.М., Фоменков С.А.* Программный комплекс поддержки процесса формирования информационного обеспечения фонда физических эффектов. //Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Информатика. Телекоммуникации. Управление. - СПб: СПбГПУ, 2009, №6, с. 306-310.

УДК 621.865.8 (004.896)

А. В. Петрухин, Т. В. Уварова

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Волгоградский государственный технический университет

tatyana_cad@mail.ru

В данной статье рассматриваются вопросы автоматизации проектирования захватных устройств промышленных роботов. Предлагается подход, который, в отличие от существующих, позволит описывать и учитывать при проектировании все необходимые требования к захватным устройствам различных типов, характерные для каждой конкретной производственной задачи, что повысит гибкость САПР захватных устройств и расширит сферу ее применения.

Ключевые слова: автоматизация проектирования, система автоматизированного проектирования (САПР), захватное устройство, промышленный робот.

A. V. Petrukhin, T. V. Uvarova

DESIGN AUTOMATION OF INDUSTRIAL ROBOT GRIPPERS

Volgograd State Technical University

In this article, we discuss questions of design automation of industrial robot gripping devices. Offer the approach, which, unlike the existing ones, will describe and take into account at designing all the necessary requirements for the different types of gripping devices specific to each particular production task, which will increase the flexibility of CAD of gripping devices and expand the scope of its application.

Keywords: design automation, computer-aided design system (CAD), gripper, gripping device, industrial robot.

На сегодняшний день при большом разнообразии производимых в промышленности деталей и узлов, существует необходимость приспосабливать применяемые промышленные роботы под новые требования, что часто связано с необходимостью разработки специальных рабочих органов, в том числе, захватных устройств (ЗУ). Поэтому, хотя число различных конструкций ЗУ достаточно велико, при установке промышленного робота по месту эксплуатации часто возникает необходимость спроектировать новое ЗУ, с учетом требований на данном производстве. Необходимость применения большого количества ЗУ обусловлена большим разнообразием форм захватываемых предметов, их размеров и масс, наличием дополнительных требований к захватыванию и удерживанию предметов, чувствительных к механическим воздействиям, и множеством других факторов. Но задача проектирования ЗУ, в зависимости от предъявляемых к ним требований, остается открытой и достаточно трудоемкой.

Таким образом, в настоящее время задача автоматизации проектирования ЗУ промышленных роботов является достаточно актуальной, и в промышленности широкое внедрение получили различные системы автоматизации проектирования (САПР), и уже достаточно долгое время ведутся работы по созданию САПР захватных устройств среди зарубежных и отечественных разработчиков [1]. Но они, как правило, не обладают достаточной степенью универсальности, и могут быть применены при проектировании только некоторых типов ЗУ. Имеется ряд работ [2–5], связанных с автоматизацией концептуального проектирования технических объектов, которые также могут быть применены при автоматизации начальных этапов проектирования ЗУ робототехнических комплексов. В связи с этим, для решения задачи автоматизации начальных этапов проектирования ЗУ промышленных роботов авторами предлагается структура БД ЗУ, которая позволит наиболее полно описывать ЗУ различных типов, как с учетом заданных параметров захватываемого объекта, так и самого ЗУ.

Задача автоматизации начальных этапов проектирования ЗУ промышленных роботов решалась авторами в нескольких направлениях: разработка БД ЗУ с гибкой структурой, и непосредственно автоматизация некоторых проектных процедур, связанных с решением задачи структурного синтеза ЗУ. В данной статье кратко рассматриваются оба вопроса.

По результатам исследования предметной области было выявлено, что при проектировании ЗУ определяется часть техпроцесса, в котором будет участвовать проектируемое ЗУ, и определяются требования к ЗУ. При этом необходимо учитывать множество факторов, основными из которых являются свойства захватываемого объекта. Основываясь на общепринятых классификациях ЗУ промышленных роботов, и с учетом основных параметров ЗУ согласно ГОСТу 26063–84, была разработана структура БД, которая позволяет учитывать взаимосвязь параметров захватываемого объекта и проектируемого ЗУ. Например, на основе расчета допустимой погрешности базирования захватываемого предмета можно осуществлять выбор кинематической схемы ЗУ. Ниже приведены некоторые из основных критериев, которые были выделены для описания ЗУ промышленных роботов.

Основные критерии для описания ЗУ промышленных роботов

Наименование критерия	**V** – является основным параметром ЗУ согласно ГОСТ 26063–84.
1. Сила захватывания Fz (Н)	**V**
2. Время захватывания/отпускания tz (с.)	**V**
3. Характерные размеры детали (min, max)	**V**
4. Габаритные размеры ЗУ (мм)	**V**
5. Масса ЗУ mz (кг)	**V**
6. Форма захватываемого предмета	
7. Чувствительность захватываемого предмета к механическим воздействиям	
8. Материал захватываемого предмета	
9. Шероховатость (чистота) поверхности Rz захватываемого предмета	
10. Показатели надежности ЗУ: установленная безотказная наработка (ч.)	**V**
11. Требуемая точность позиционирования захватываемого предмета	

Окончание таблицы

Наименование критерия	**V** – является основным параметром ЗУ согласно ГОСТ 26063–84.
12. Количество захватываемых предметов	
13. Свойства симметрии захватываемого предмета	
14. Ориентация предмета в момент захватывания (для захватывания неориентированно расположенного предмета из навала необходимо использовать адаптивное ЗУ)	
15. Требуемые условия эксплуатации ЗУ (диапазон температуры, относительная влажность, запыленность помещения и т.п.)	**V**
16. Вид привода ЗУ	**V**
17. Способ крепления ЗУ к руке робота	
18. Необходимость наличия дополнительных устройств для ориентирующих перемещений или для выполнения технологических операций	
19. Способ базирования захватываемого предмета	
20. Допустимая погрешность базирования захватываемого предмета	

Различные типы ЗУ описываются большим количеством разнообразных характеристик, которые необходимо учитывать при разработке БД ЗУ. Причем, может возникнуть ситуация, когда появятся ЗУ с новыми характерными особенностями, которые невозможно будет описать при помощи жестко заданной структуры БД с заранее заданным набором параметров. В связи с этим, авторами предлагается БД ЗУ с гибкой структурой, что обеспечит возможность расширять описание ЗУ в БД при появлении у них новых характеристик. Такой подход в разработке БД ЗУ обеспечит адекватное описание любых ЗУ с любым набором характеристик.

Задача структурного синтеза проектируемых объектов относится к наиболее трудно формализуемой. Существует ряд общих подходов к постановке этих задач, однако практическая реализация большинства из них неочевидна. Поэтому структурный синтез, как правило, выполняют в интерактивном режиме при решающей роли инженера-разработчика. В разрабатываемой САПР ЗУ целесообразно применять средства синтеза проектных решений, позволяющие решать данную задачу в интерактивном режиме. Для этого было решено разра-ботать и использовать БД типовых проектных решений для ЗУ, которая позволит на первоначальном этапе проектирования выбрать одну из типовых конструкций ЗУ и взять ее за основу для последующих модификаций, согласно условиям задачи.

Структурный синтез ЗУ заключается в преобразовании описания проектируемого ЗУ: исходное описание содержит информацию о требованиях к свойствам ЗУ, об условиях его функционирования, ограничениях на элементный состав и прочее, а результирующее описание должно содержать сведения о структуре ЗУ, т.е. о составе элементов и способах их соединения и взаимодействия, представленное в виде кинематической схемы ЗУ и дополнительного описания.

Обозначим множество альтернатив проектного решения для ЗУ как A. Каждой альтернативе в САПР ЗУ соответствует поисковый образ, состоящий из ключевых характеристик проектируемого ЗУ.

Поскольку явное перечисление всех альтернатив при представлении множества альтернатив возможно лишь при малой мощности A и заранее известном наборе альтернатив, поэтому будем использовать описание A в виде набора правил P синтеза проектных решений из ограниченного набора элементов E. Обозначим A = <P,E>, и процесс синтеза проектных решений ЗУ состоит из следующих этапов:

1) формирование альтернативы Ax путем выбора из БД типовых проектных решений для ЗУ по сформированному поисковому запросу или генерация из E в соответствии с правилами P;

2) оценка альтернативы Ax по критериям, заданным пользователем;

3) принятие пользователем решения относительно перехода к следующей альтернативе или прекращения поиска.

Таким образом, для решения задачи структурного синтеза ЗУ на вход САПР ЗУ должны подаваться исходные требования для проектируемого ЗУ, которые вносятся в соответствующие поля поискового образа. По результатам синтеза должна выдаваться информация, включающая базовую структурную (кинематиче-

скую) схему ЗУ и рекомендации по ее модификации для проектируемого ЗУ.

В заключение отметим, что предлагаемый авторами подход, включающий применение БД ЗУ с гибкой структурой и предложенный вариант решения задачи структурного синтеза ЗУ, в отличие от существующих САПР ЗУ, позволит описывать и учитывать при проектировании все необходимые требования к ЗУ различных типов, характерные для каждой конкретной производственной задачи, что повысит гибкость САПР ЗУ и расширит сферу ее применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Уварова*, Т.В. Обзор средств автоматизации проектирования захватных устройств промышленных роботов / Т.В. Уварова // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012». – Выпуск 4. Том 14. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – с. 69–71.

2. *Петрухин* А.В. Автоматизация концептуального проектирования технических объектов на основе комплексного использования формальных и неформальных проектных процедур. - в кн. Концептуальное проектирование. Развитие и совершенствование методов // Коллективная монография под редакцией д.т.н., профессора Камаева В.А. - Москва, «Машиностроение-1» 2005. 345 с., илл.

3. Фоменков С.А., *Петрухин* А.В., *Колесников* С.Г. Автоматизация процедур формирования информационного обеспечения для систем концептуального проектирования, использующих структурированные физические знания в форме физических эффектов. // Качество и CALS-технологии. Науч. журнал. Раздел №8, январь 2005.

4. *Фоменков* С.А., *Давыдов* Д.А., *Петрухин* А.В. Информационный поиск в области физических знаний с применением электронного справочника по физическим эффектам. // Качество и CALS- технологии. Науч. журнал. Раздел №8, январь 2005.

5. *Петрухин* А.В. Построение и использование специализированных тезаурусов при концептуальном проектировании технических систем // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. №2(17) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. (Сер. Концептуальное проектирование в образовании, технике и технологии).

УДК 004.89

С. А. Фоменков, С. Г. Колесников, Д. М. Коробкин

ФОРМИРОВАНИЕ И СТРУКТУРА БАЗ ДАННЫХ ПО ФИЗИЧЕСКИМ ЭФФЕКТАМ*

Волгоградский государственный технический университет

saf@vstu.ru, sk@vstu.ru, dkorobkin80@mail.ru

Рассматривается информационное наполнение баз данных, сформированных на основе предложенных моделей описания физических эффектов. Приведено количественное распределение эффектов по основным разделам физических знаний в инвариантном к предметным областям техники массиве и в ряде объектно-ориентированные фондов. Дана оценка качества информационного наполнения баз данных по физическим эффектам. Представлена общая методика модификации баз данных по физическим эффектам, предназначенная для адаптации информационного обеспечения к изменяющимся потребностям пользователей.

Ключевые слова: модель, физический эффект, информационное обеспечение, база данных.

S. A. Fomenkov, S. G. Kolesnikov, D. M. Korobkin

THE FORMATION AND STRUCTURE OF DATABASES ON PHYSICAL EFFECTS

Volgograd State Technical University

Information filling of the databases created on the basis of offered models of the description of physical effects is considered. Quantitative distribution of effects according to the main sections of physical knowledge in invariant is given to subject domains of equipment the massif and in a row object-oriented funds. The assessment of quality of information filling of databases on physical effects is given. The general technique of modification of databases on the physical effects, intended for adaptation of information support to changing needs of users is presented.

Keywords: model, physical effect, information support, database.

Эффективность применения баз данных по физическим эффектам (ФЭ) при решении практических задач в области поискового проектирования, изобретательства, научной деятельности и обучения зависит от двух факторов: структуры представления физических знаний и конкретного информационного наполнения. Очевидно, что с ростом количества ФЭ в базе данных и расширением степени охвата различных разделов физических знаний ценность базы данных возрастает.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 13-01-00302)

На основе предложенных моделей описания ФЭ [1-4] на кафедре САПР и ПК ВолгГТУ сформирован уникальный информационный массив ФЭ. Ядром массива является инвариантная к предметным областям техники и разделам физики совокупность ФЭ, получившая условное название «глобальная база данных по ФЭ». Глобальная база данных содержит 1067 описаний ФЭ и структурно состоит из следующих частей, отличающихся способами формирования.

1). Учебный фонд - 211 ФЭ. В фонд включены ФЭ, соответствующие, в основном, программе курса общей физики в высших технических учебных заведениях.

2). Основной фонд - 589 ФЭ. В фонд включены ФЭ, дополняющие курс общей физики и соответствующие специальным разделам физики. Наиболее крупными разделами основного фонда являются следующие:

• физика металлов (металловедение) - 74 ФЭ;

• физика полупроводников - 57 ФЭ;

• физика твердых диэлектриков - 45 ФЭ (в том числе, физика сегнетоэлектриков, сегнетополупроводников - 22 ФЭ);

• оптика (генерация электромагнитного излучения, волновая оптика, квантовая оптика, оптические свойства вещества) - 85 ФЭ (в том числе, люминесценция - 15 ФЭ, лазеры - 14 ФЭ);

• физика жидкости - 99 ФЭ (в том числе, жидкие кристаллы - 14 ФЭ, жидкие металлы и расплавы - 19 ФЭ, квантовые жидкости - 5 ФЭ);

• акустика (упругие колебания и акустические волны, акустические явления во внешние полях, воздействие звука и ультразвука на вещество, акустические свойства вещества) - 29 ФЭ;

• сверхпроводимость - 37 ФЭ (в том числе, высокотемпературная сверхпроводимость - 4 ФЭ);

• физика плазмы - 33 ФЭ;

• физика газов - 14 ФЭ;

• магнитоупорядоченное состояние вещества (ферромагнетики, ферримагнетики, антиферромагнетики) - 26 ФЭ;

• кинетические (диффузия, ионный перенос, перекрестные эффекты, перенос во внешних полях) и контактные явления в твердых телах - 52 ФЭ;

• эмиссия (электронная, ионная) - 14 ФЭ;

• резонансные явления - 14 ФЭ.

3). Специальный фонд ФЭ, составленный на основе информации, содержащейся в заявках на открытия по физике - 120 ФЭ. Фонд содержит следующие разделы:

• физика металлов (металловедение) - 20 ФЭ;

• физика диэлектриков - 10 ФЭ;

• кинетические и контактные явления в веществе - 27 ФЭ;

• эмиссия (электронная, ионная) - 5 ФЭ;

• оптика - 19 ФЭ;

• магнитные свойства твердого тела (ферромагнетики, парамагнетики) - 5 ФЭ;

• физика полупроводников - 10 ФЭ;

• физика полимерных материалов - 8 ФЭ;

• тепловые свойства твердого тела - 3 ФЭ;

• электрические свойства твердого тела - 3 ФЭ;

• сыпучие среды (слабоструктурированные системы), горные породы - 6 ФЭ;

• сверхпроводимость - 2 ФЭ;

• физика жидкостей - 8 ФЭ.

4). Специальный фонд ФЭ, составленный на основе информации, содержащейся в новых публикациях (2012 - 1995 годы) в физических журналах - 147 ФЭ. Фонд содержит следующие разделы:

• оптика (генерация электромагнитного излучения, волновая оптика, квантовая оптика, оптические свойства вещества, взаимодействие электромагнитного излучения с веществом) - 23 ФЭ;

• методы получения и свойства нанокристаллических и субмикрокристаллических материалов - 41 ФЭ;

• фуллерены и фуллеренсодержащие растворы - 4 ФЭ;

• физика газов - 8 ФЭ;

• физика жидкости и жидких кристаллов - 8 ФЭ;

• магнитоупорядоченное состояние вещества (ферромагнетики, ферримагнетики, антиферромагнетики) - 15 ФЭ;

• механические свойства твердого тела - 13 ФЭ;

• акустика - 11 ФЭ;

• электронная эмиссия и резонансные явления - 7 ФЭ;

• фазовые переходы и поверхностные свойства твердого тела - 17 ФЭ.

Значимость глобальной базы данных по ФЭ определяется тем, что за счет инвариантности информационного наполнения достигается полнота охвата различных областей физических знаний (универсальность). Данное обстоятельство является важным фактором для расширения круга решаемых задач, а также расша-

тывания стереотипов и снятия «информационных барьеров» при решении задач (путем применения новых ФЭ или нетрадиционного применения известных ФЭ). Глобальная база данных по ФЭ служит также «питательной средой» для создания узкоспециализированных баз данных, ориентированных на решение задач в конкретной предметной области.

В качестве дополнения к глобальной базе данных по ФЭ служат объектно-ориентированные фонды ФЭ (локальные базы данных по ФЭ). Нами были созданы три локальные базы данных по ФЭ.

В рамках совместной работы с НПО «Информ-система» (г. Москва) сформирован объектно-ориентированный фонд ФЭ «Разрушение и управление свойствами горных пород» - 155 ФЭ. Фонд содержит следующие разделы:

• способы разрушения горных пород - 49 ФЭ;

• физические свойства горных пород - 43 ФЭ, в том числе, механические свойства - 14 ФЭ, тепловые свойства - 10 ФЭ, электромагнитные свойства - 19 ФЭ;

• управление свойствами горных пород - 27 ФЭ;

• управление горным давлением (предупреждение горных ударов, разгрузка от напряжений, упрочнение пород) - 36 ФЭ.

Объектно-ориентированный фонд ФЭ «Алмаз в электронной технике» состоит из 39 ФЭ. Фонд содержит следующие разделы:

• физические свойства алмаза, влияние внешних воздействий - 22 ФЭ. Рассмотрены наиболее важные свойства природных и синтетических кристаллов алмаза, алмазной керамики и эпитаксиальных алмазоподобных пленок как материала электронной техники, их изменение при различных воздействиях (нагревание, изменение температуры отжига, осаждения, электронная и ионная бомбардировка, механические напряжения, переменное электрическое поле, ультрафиолетовое, рентгеновское, гамма-излучения, мощное лазерное излучение). Описаны технологии целенаправленного изменения свойств алмаза - ионная имплантация, отжиг, радиационное наведение дефектов;

• элементы и дискретные приборы на основе алмаза - 11 ФЭ (терморезисторы, болометры, детекторы и дозиметры ионизирующих излучений, теплоотводы, оптические переключатели и коммутаторы и другие);

• алмаз как рабочее вещество полупроводниковых приборов - 6 ФЭ (диоды Шоттки, биполярный транзистор, точечно-контактный транзистор, полевой транзистор, СВЧ-транзистор с проницаемой базой, лазер с перестраиваемой частотой в видимой части спектра).

Объектно-ориентированный фонд ФЭ «Получение и свойства аморфных материалов» состоит из 67 ФЭ. Фонд содержит следующие разделы:

• получение аморфных материалов - 10 ФЭ;

• механические свойства аморфных материалов - 11 ФЭ;

• магнитные свойства аморфных материалов - 21 ФЭ;

• термодинамические свойства аморфных материалов - 4 ФЭ;

• оптические и электрические свойства аморфных материалов - 6 ФЭ;

• изменения свойств при фазовых превращениях - 15 ФЭ.

Списки эффектов большинства вышеупомянутых баз данных приведены в [1].

Формирование и заполнение информацией баз данных - достаточно сложный и трудоемкий процесс, технико-экономические показатели которого сильно зависят от структуры, состава, объема, связности и других характеристик исходной информации. Обобщенные характеристики подобных работ пока отсутствуют. Произведем нестрогую оценку качества информационного наполнения глобальной БД ФЭ в соответствии с функциональными показателями, предложенными в [5,6]. Данные показатели включают:

• полноту накопленных описаний объектов (K_1) - относительное число объектов или документов, имеющихся в БД, к общему числу объектов по данной тематике или по отношению к числу объектов в аналогичных БД по той же тематике;

• достоверность (K_2) - степень соответствия данных об объектах в БД реальным объектам вне ЭВМ в данный момент времени, определяющаяся изменениями самих объектов, некорректностями записей об их состоянии или некорректностью расчетов их характеристик;

• актуальность данных (K_3) - относительное число морально устаревших данных об объектах в БД к общему числу накопленных и обрабатываемых данных;

• идентичность данных (K_4) - относительное число описаний объектов, не содержащих ошибки, к общему числу документов об объектах в БД.

В силу чрезвычайно большой трудоемкости анализа постоянно расширяющегося массива источников первичной информации, содержащей сведения об ФЭ, очень сложно оценить число известных из литературы ФЭ. Поэтому для приблизительной оценки полноты накопленных описаний в БД ФЭ за общее число ФЭ примем количество эффектов (соответствующих концептуальной модели ФЭ) в физическом энциклопедическом словаре [7]. При таком допущении расчет дает $K_1 \approx 91$ %. Физические эффекты являются достоверным физическим знанием и не обладают свойством морального старения. В силу этого можно считать, что $K_2 \approx 100$ %, $K_3 \approx 0$ %. Относительно идентичности данных заметим следующее. При формировании и расширении БД ФЭ, разумеется, встречаются субъективные ошибки, связанные с заполнением входных, выходных карт ФЭ и их вводом в компьютер. Для выявления такого рода ошибок производятся периодические сверки содержания входных и выходных карт ФЭ по отдельным разделам БД ФЭ. Практика таких сверок показывает, что $K_4 \approx 92$ %.

В заключении статьи отметим ряд важных обстоятельств, касающихся информационного наполнения баз данных по физическим эффектам.

Во-первых, процедура составления описаний ФЭ не является однократной, а носит итерационный характер. Необходимость пересмотра уже созданных описаний ФЭ объясняется рядом причин:

• постоянно появляется оперативная информация, позволяющая дополнить, модифицировать описания ФЭ по уже существующим моделям представления ФЭ;

• создаются новые модели представления ФЭ, которые требуют привлечения более широкой по составу информации;

• развитие технического и программного обеспечения ЭВМ позволяет снять ранее существовавшие жесткие ограничения по объему и составу информации в описаниях ФЭ.

Во-вторых, одной из главных возможностей адаптации автоматизированных информационных систем, оперирующих с ФЭ, к реальной задаче пользователя является открытость их информационного обеспечения. Пользователь должен иметь возможность самостоятельно создавать необходимое ему дополнительное информационное обеспечение, т.е. соответствующие объектно-ориентированные фонды ФЭ. Нами разработана методика создания таких фондов ФЭ, в общем виде она предусматривает осуществление следующих процедур:

• анализ имеющегося информационного массива ФЭ, главным образом, глобальной базы данных по ФЭ;

• подбор первичной информации из литературных источников (мобилизация первичной информации);

• предварительная обработка первичной информации для составления описаний ФЭ (анализ собранной информации и ее сортировка);

• составление описаний ФЭ или модификация существующих описаний ФЭ в соответствии с выбранной моделью представления ФЭ.

В [1,8,9] для каждой процедуры методики рассмотрены операции, входящие в ее состав, и даны рекомендации по их осуществлению на практике. Реализация ряда трудно формализуемых операций проиллюстрирована на конкретных примерах.

При интеграции вновь созданного объектно-ориентированного фонда ФЭ в состав общей БД ФЭ необходимо реализовать дополнительные процедуры: ввод описаний ФЭ в компьютер, верификация БД ФЭ, корректировка БД ФЭ, которые образуют в совокупности методику корректировки БД ФЭ при включении новых фондов. В [1,10] приведено описание процедур данной методики. Объединение процедур методик создания объектно-ориентированных фондов ФЭ и корректировки БД ФЭ при включении новых фондов позволяет сформировать общую методику модификации БД ФЭ, предназначенную для адаптации информационного обеспечения к изменяющимся потребностям пользователей.

В силу того, что большинство процедур *данной* методики достаточно трудоемко, нами в последние годы предприняты значительные усилия по автоматизации этих процедур [11-15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фоменков С.А., Давыдов Д.А., Камаев В.А.* Моделирование и автоматизированное использование структурированных физических знаний. Монография. - М.: Машиностроение - 1, 2004. - 278 с.

2. *Герасимов А.М., Колчин П.А., Фоменков С.А.* Автоматизированная система поиска физических эффектов «Полезный эффект». //Программные продукты и системы, 2007, №4, с. 38-39.

3. *Яровенко В.А., Фоменков С.А.* Совершенствование модели представления и средств управления массивом данных физических эффектов. //Вестник компьютерных и информационных технологий, 2010, № 9, с. 28-31.

4. *Яровенко В.А., Фоменков С.А., Колесников С.Г.* Компьютерное представление функциональной зависимости физических величин входа и выхода физического эффекта. //Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып.17». - Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2013, №14(117), с. 135-139.

5. *Антопольский А.Б., Ауссем В.И., Вигурский К.В. и др.* Учет, регистрация и сертификация баз данных. //НТИ. Сер.1. Орг. и методика информ. работы, 1993, № 7, с. 30-32.

6. *Дружинин Г.В., Сергеева И.В.* О сертификации информационных технологий. //Вестник РОИВТ, 1993, № 1-2, с.72-75.

7. Физика. Большой энциклопедический словарь. - М.: Большая Российская энциклопедия, 1998.

8. *Фоменков С.А., Колесников С.Г.* Методика модификации фонда физических эффектов. //Техника машиностроения, 2004, №3, с. 65-69.

9. *Фоменков С.А., Колесников С.Г., Коробкин Д.М.* Методика модификации информационного обеспечения базы данных физических эффектов. //Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып.14». - Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2012, №10(97), с. 166-170.

10. *Фоменков С.А., Колесников С.Г., Давыдов Д.А.* Методика корректировки базы данных по физическим эффектам при включении в них новых объектно-ориентированных фондов. //Машиностроитель, 2004, №5, с. 35-36.

11. *Попов М.Ю., Фоменков С.А., Заболеева-Зотова А.В.* Реализация семантико-синтаксического анализатора естественного языка в системе классификации текстовых документов. //Открытое образование, 2004, №5, с. 60-65.

12. *Фоменков С.А., Петрухин А.В., Колесников С.Г.* Автоматизация процедур формирования информационного обеспечения для систем концептуального проектирования, использующих структурированные физические знания в форме физических эффектов. //Качество и ИПИ (CALS) - технологии, 2005, №1, с. 26-29.

13. *Коробкин Д.М., Фоменков С.А., Колесников С.Г.* Автоматизация процесса формирования информационного обеспечения базы данных физических эффектов. // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2005, №3, с. 22-25.

14. *Коробкин Д.М., Фоменков С.А.* Методика выделения структурированной физической информации в виде физических эффектов из текста. //Вестник компьютерных и информационных технологий, 2009, №10, с. 35-39.

15. *Фоменков С.А., Коробкин Д.М., Дворянкин А.М.* Программный комплекс представления и использования структурированных физических знаний. //Вестник компьютерных и информационных технологий, 2012, №11, с. 24-28..