

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Том 22
2016
№ 10

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с ноября 1995 г.

УЧРЕДИТЕЛЬ
Издательство "Новые технологии"

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Богатырев П. Ю., Коськин А. В. Структура информационного пространства организации с применением теоретико-множественного подхода к систематизации информации. 723

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Родькина О. Я., Никольская В. А. К проблеме распознавания психоэмоционального состояния человека по речи с использованием автоматизированных систем. 728

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ

Зак Ю. А. Математические модели эффективного подбора персонала для выполнения инновационных проектов. 734

Валеева А. Ф., Гончарова Ю. А., Валеев Р. С. Об одном подходе к решению задач операционного планирования по доставке однородной продукции различным клиентам. Часть 1. 741

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ

Садыков С. С., Кульков Я. Ю. Распознавание отдельных тестовых и реальных плоских объектов по безразмерным признакам контуров их бинарных изображений. 747

Мамедов Р. К., Алиев Т. Ч., Муталимова А. С. Распознавание бинарных изображений объектов, подвергнутых афинным преобразованиям. 754

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Иванников А. Д. Анализ методов декомпозиции задачи отладки проектов цифровых систем. 758

Ильясов Б. Г., Гвоздев В. Е., Бежаева О. Я., Курунова Р. Р. Сравнительный анализ проектных решений по комплексу потребительских свойств и технических характеристик объектов. 764

Кузнецова Е. В., Кравченко Т. К., Кряжев С. А. Комплексная корпоративная система управления проектами в строительном бизнесе. 771

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Груздева Л. М., Лобачев С. Л. Набор на дистанционное обучение в РУНЕТ: предпосылки, опыт и анализ. 779

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БИМЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМАХ

Авдошин С. М., Песоцкая Е. Ю. Экосистемы мобильной медицины. 786

Знайко Г. Г., Прохоров Н. Л., Красовский В. Е. Опыт проектирования и внедрения компьютеризированной ультразвуковой медицинской техники. 791

Главный редактор:
СТЕМПКОВСКИЙ А. Л.,
акад. РАН, д. т. н., проф.

Зам. главного редактора:
ИВАННИКОВ А. Д., д. т. н., проф.
ФИЛИМОНОВ Н. Б., д. т. н., с.н.с.

Редакционный совет:
БЫЧКОВ И. В., акад. РАН, д. т. н.
ЖУРАВЛЕВ Ю. И.,
акад. РАН, д. ф.-м. н., проф.
КУЛЕШОВ А. П.,
акад. РАН, д. т. н., проф.
ПОПКОВ Ю. С.,
чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.
РУСАКОВ С. Г.,
чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.
РЯБОВ Г. Г.,
чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.
СОЙФЕР В. А.,
чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.
СОКОЛОВ И. А., акад.
РАН, д. т. н., проф.
СУЕТИН Н. В., д. ф.-м. н., проф.
ЧАПЛЫГИН Ю. А.,
чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.
ШАХНОВ В. А.,
чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.
ШОКИН Ю. И.,
акад. РАН, д. т. н., проф.
ЮСУПОВ Р. М.,
чл.-корр. РАН, д. т. н., проф.

Редакционная коллегия:
АВДОШИН С. М., к. т. н., доц.
АНТОНОВ Б. И.
БАРСКИЙ А. Б., д. т. н., проф.
ВАСЕНИН В. А., д. ф.-м. н., проф.
ВИШНЕКОВ А. В., д. т. н., проф.
ГАЛУШКИН А. И., д. т. н., проф.
ДИМИТРИЕНКО Ю. И., д. ф.-м. н., проф.
ДОМРАЧЕВ В. Г., д. т. н., проф.
ЗАБОРОВСКИЙ В. С., д. т. н., проф.
ЗАГИДУЛЛИН Р. Ш., к. т. н., доц.
ЗАРУБИН В. С., д. т. н., проф.
КАРПЕНКО А. П., д. ф.-м. н., проф.
КОЛИН К. К., д. т. н., проф.
КУЛАГИН В. П., д. т. н., проф.
КУРЕЙЧИК В. М., д. т. н., проф.
ЛЬВОВИЧ Я. Е., д. т. н., проф.
МИХАЙЛОВ Б. М., д. т. н., проф.
НЕЧАЕВ В. В., к. т. н., проф.
ПОЛЕЩУК О. М., д. т. н., проф.
СОКОЛОВ Б. В., д. т. н., проф.
ТИМОНИНА Е. Е., д. т. н., проф.
УСКОВ В. Л., к. т. н. (США)
ФОМИЧЕВ В. А., д. т. н., проф.
ШИЛОВ В. В., к. т. н., доц.

Редакция:
БЕЗМЕНОВА М. Ю.
ГРИГОРИН-РЯБОВА Е. В.
ЛЫСЕНКО А. В.
ЧУГУНОВА А. В.

Информация о журнале доступна по сети Internet по адресу <http://novtex.ru/IT>.

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования.

Журнал входит в Перечень научных журналов, в которых по рекомендации ВАК РФ должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

CONTENTS

GENERAL QUESTIONS

- Bogatyrev P. Yu., Koskin A. V.** Structure of Integrated Information Space of a Company, Based on Set-Theoretic Approach 723

INTELLIGENT SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

- Rodkina O. Ya., Nikolskaya V. A.** To the Problem of Person's High Emotional State Recognition by his Speech 728

MODELING AND OPTIMIZATION

- Zack Yu. A.** An Algorithm for Selecting a Plurality of Experts to Carry out Innovative Projects among the Many Contenders for the Position Held 734

- Valeeva A. F., Goncharova Ju. A., Valeev R. S.** An Approach for the Operational Planning Problems of Homogeneous Goods Delivery to Different Customers. Part 1 . . . 741

DIGITAL PROCESSING OF SIGNALS AND IMAGES

- Sadykov S. S., Kulkov Ya. Yu.** Recognition of Separate Test and Real Flat Objects on Dimensionless Marks of Contours of their Bitmaps 747

- Mammadov R. G., Aliyev T. Ch., Mutallimova A. S.** Recognition of Binary Images of the objects Suffered to Affine Transformation 754

CAD-SYSTEMS

- Ivannikov A. D.** Decomposition Methods Analysis for Digital System Design Debugging 758

- Ilyasov B. G., Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ya., Kurunova R. R.** Comparative Analysis of Design Decisions on Complex of Consumer Properties and Specifications of the Object 764

- Kuznetsova E. V., Kravchenko T. K., Kryazhev S. A.** Corporate Integrated Automated Project Management System for the Construction Business 771

INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION

- Gruzdeva L. M., Lobachev S. L.** Admission of Abiturients for Distant Learning within Runet: Preconditions, Experience and Analysis. 779

INFORMATION TECHNOLOGIES IN BIOMEDICAL SYSTEMS

- Avdoshin S. M., Pesotskaya E. Y.** Mobile Healthcare Ecosystems 786

- Znajko G. G., Prokhorov N. L., Krasovsky V. E.** The Experience of Design and Introduction into Service of the Computerised Ultrasound-Based Medical Equipment . . . 791

Editor-in-Chief:

Stempkovsky A. L., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.

Deputy Editor-in-Chief:

Ivannikov A. D., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Filimonov N. B., Dr. Sci. (Tech.), Prof.

Chairman:

Bychkov I. V., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Zhuravljov Yu. I., Member of RAS,
Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Kuleshov A. P., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Popkov Yu. S., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Rusakov S. G., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Ryabov G. G., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Soifer V. A., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Sokolov I. A., Member of RAS,
Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Suetin N. V.,
Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Chaplygin Yu. A., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Shakhnov V. A., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Shokin Yu. I., Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Yusupov R. M., Corresp. Member of RAS,
Dr. Sci. (Tech.), Prof.

Editorial Board Members:

Avdoshin S. M., Cand. Sci. (Tech.), Ass. Prof.
Antonov B. I.
Barsky A. B., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Vasenin V. A., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Vishnekov A. V., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Galushkin A. I., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Dimitrienko Yu. I., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Domrachev V. G., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Zaborovsky V. S., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Zagidullin R. Sh., Cand. Sci. (Tech.), Ass. Prof.
Zarubin V. S., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Karpenko A. P., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.
Kolin K. K., Dr. Sci. (Tech.)
Kulagin V. P., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Kureichik V. M., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Ljvovich Ya. E., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Mikhailov B. M., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Nechaev V. V., Cand. Sci. (Tech.), Ass. Prof.
Poleschuk O. M., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Sokolov B. V., Dr. Sci. (Tech.)
Timonina E. E., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Uskov V. L. (USA), Dr. Sci. (Tech.)
Fomichev V. A., Dr. Sci. (Tech.), Prof.
Shilov V. V., Cand. Sci. (Tech.), Ass. Prof.

Editors:

Bezmenova M. Yu.
Grigorin-Ryabova E. V.
Lysenko A. V.
Chugunova A. V.

Complete Internet version of the journal at site: <http://novtex.ru/IT>.

According to the decision of the Higher Certifying Commission of the Ministry of Education of Russian Federation, the journal is inscribed in "The List of the Leading Scientific Journals and Editions wherein Main Scientific Results of Theses for Doctor's or Candidate's Degrees Should Be Published"

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ GENERAL QUESTIONS

УДК 004.9

П. Ю. Богатырев, аспирант, e-mail: PFight77@gmail.com,

А. В. Коськин, д-р техн. наук, проф., e-mail: kav1959@rambler.ru,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, г. Орел

Структура информационного пространства организации с применением теоретико-множественного подхода к систематизации информации

Рассматривается способ построения системы управления информационными ресурсами организации с точки зрения структурирования информации. Вводится обобщенная модель систематизации, интегрирующая подходы, используемые в современных системах управления содержанием, на основе теоретико-множественного подхода.

Ключевые слова: информация, управление знаниями, управление содержанием, модель, систематизация, теория множеств, структурирование, иерархия, метки

Введение

В процессе управления знаниями в организации накапливается значительное количество информации в различных представлениях и формах. Под знаниями здесь понимается "любое слово, факт, пример, событие, правило, гипотеза или модель, которые усиливают понимание или исполнение в определенной области деятельности или дисциплины" [1], а также "все виды информации, включая неструктурированный контент (письма, эскизы, фото) и данные (в базах данных и хранилищах данных)" [2]. Создание общедоступных баз данных, способных накапливать и предоставлять доступ к данным из различных географических точек, в настоящее время является задачей, имеющей много готовых технических решений [1–3]. Однако систематизация всего объема накопленных сведений для обеспечения фактической доступности с учетом временных затрат на поиск нужной информации является на настоящий момент слабо разработанной научной проблемой.

Постановка задачи

Организацию можно рассматривать как единый организм, в котором все сотрудники работают над достижением общих целей. Базу знаний организации в этом случае можно представить как память этого единого существа, аналогичную памяти человека. Проводя аналогию с человеческой памятью, мы можем сформулировать требования к системе управления базой знаний:

- размещение информации в базе знаний должно быть простым, эффективным и быстрым;

- информация в базе должна храниться в таком виде, который обеспечивает эффективную работу с ней;
- получение необходимых сведений должно быть таким же простым, как припоминание ранее известного факта человеком.

Очевидно, что построить систему, которая в полной мере могла бы сравниться с человеческой памятью, затруднительно, однако к этому следует стремиться. Чем более эффективными и простыми будут процессы размещения и получения информации в данной системе, тем ближе мы будем к идеалу. В практическом же смысле приближение к идеалу памяти будет означать повышение эффективности организации за счет накопления и использования опыта сотрудников, обмена информацией между участниками процесса и, как следствие, повышение конкурентоспособности, прибыльности и социальной значимости всего предприятия.

Архитектура информационной системы

Одним из основных направлений в данной области является разработка систем искусственного интеллекта, способных осуществлять высокорелевантный поиск по базе знаний за счет семантического анализа запроса и самих знаний [2, 3]. Такой подход, хотя и не лишен преимуществ, обладает существенным недостатком. Он подразумевает, что в процессе накопления данные слабо структурируются, образуя большие массивы малодоступной информации. И только в конце жизненной цепочки, на этапе доступа к собранным знаниям осуществляется некоторый анализ и обработка информации. На наш взгляд, для достижения наиболь-

шей эффективности систематизация должна осуществляться на всех этапах работы с информацией, в том числе уже на этапе ее сбора. Полученная таким образом база знаний будет доступна не только автоматическим системам с искусственным интеллектом, но в ней также сможет найти нужные сведения сам человек, используя те сведения, которые у него есть в памяти для поиска нужных данных. Ко всему прочему, задача построения такой базы знаний видится более просто реализуемой с технической точки зрения, чем построение сложных систем, способных в полной мере выявлять семантическое и прагматическое содержание текста.

Если учитывать многообразие информационного пространства организации, то создание единой системы, которая хранила бы внутри себя все возможные виды информационных объектов, видится непрактичным. В любой организации есть набор устоявшихся инструментов для выполнения тех или иных задач. Например, почта отправляется через почтовый клиент, файлы хранятся на FTP-серверах, различного рода статьи — на внутреннем интранет-портале, задачи — в некотором менеджере задач (например, Actionspace) и т.д. Все эти решения являются узкоспециализированными и в наилучшей степени подходят для решения поставленных перед ними конкретных задач. Однако, каждое из этих решений, как правило, существует отдельно от остальных. Каждое из них образует небольшую базу знаний, содержащую часть информационного пространства организации. Более того, поскольку все эти системы ориентированы на выполнение специальных задач, часто они не включают достаточных средств для систематизации информации.

Одним из способов решения данной проблемы является разработка информационной системы, которая стала бы интегратором, надстройкой над всеми остальными программными системами, функционирующими в организации. Единственной зада-

чей данной системы будет систематизация информации, в то время как сами данные будут храниться там же, где и обычно. Письма будут храниться на почтовом сервере, файлы на FTP-серверах, но в системе-интеграторе будут находиться ссылки на все эти ресурсы, организованные наиболее оптимальным образом. Это позволит ввести единую модель систематизации для всех информационных объектов, определить единый интерфейс, через который можно получить любую необходимую информацию, и использовать при этом мощные специально разработанные для этих целей инструменты систематизации, сущность которых и является предметом данного исследования.

Технически данная система может состоять из Web-интерфейса, предоставляющего быстрый доступ к базе знаний с любого устройства (в том числе мобильного), а также набора шлюзов для доступа к различным хранилищам информации (например, для осуществления полнотекстового поиска по содержимому документов), набора специализированных клиентов (плагинов), которые будут внедряться в существующие программные системы организации (почтовые клиенты, браузеры, файловые менеджеры и т.д.) и предоставлять пользователям простой интерфейс для добавления обрабатываемых в них информационных объектов в интегрированную базу знаний. Общая архитектура системы представлена на рис. 1. Штриховыми линиями на рисунке обозначены элементы, которые являются внешними для разрабатываемой системы.

Проблема выбора структуры базы систематизации

Ключевой проблемой при построении данной системы является логическая структура базы систематизации. От того, насколько она будет гибка в описании структурируемого информационного пространства, зависит эффективность всей системы. Анализ существующих способов систематизации информации показал, что одним из основных способов упорядочивания сведений является разбивка множества информационных объектов на именованные подмножества [6]. Данные подмножества могут иметь плоскую структуру и пересекаться произвольным образом (такие подмножества обычно называют "метки", или "тэги"), либо выстраиваются в иерархическую структуру без пересечений ("директории", "папки") [6]. Стоит отметить, что при большом числе информационных объектов иерархическая организация — один из самых эффективных способов борьбы со сложностью [4, 5]. Таким образом, структура базы систематизации должна включать в себя выделение в массиве данных некоторых групп или подмножеств, формируемых по некоторым объективным или субъективным критериям, значимым с точки зрения пользователей базы знаний, и образующих иерархическую структуру.

Иерархическая организация множеств в данном вопросе не может просто ограничиться соотноше-

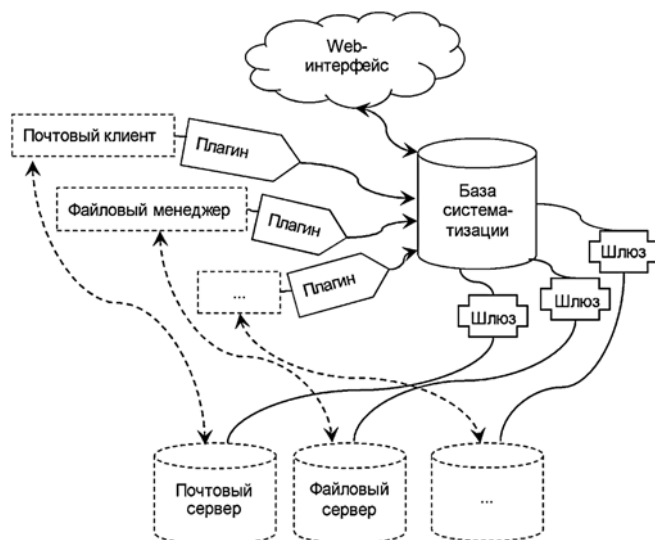


Рис. 1. Архитектура интегрирующей информационной системы



Рис. 2. Вариант иерархической организации множеств с непересекающимися подмножествами



Рис. 3. Вариант иерархической организации множеств с пересекающимися подмножествами

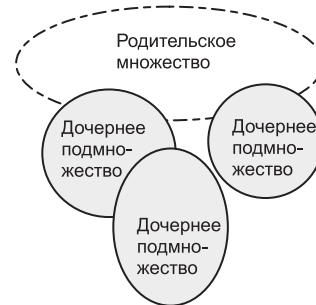


Рис. 4. Вариант иерархической организации множеств с несвязанными подмножествами

нием "надмножество включает в себя подмножество", так как это не позволяет смоделировать существующие, устоявшиеся способы систематизации [6]. Рассмотрим возможные способы выделения подмножеств информационных объектов с теоретико-множественной точки зрения, учитывая иерархический характер взаимосвязей.

А. Дети являются непересекающимися подмножествами родителя (рис. 2).

В. Дети являются пересекающимися подмножествами родителя, могут охватывать не все множество (рис. 3).

С. Родительское множество никак не связано с дочерними подмножествами (рис. 4).

Д. Набор независимых иерархий, существующих одновременно, т. е. множества каждой иерархии могут иметь произвольные пересечения на разных уровнях, которые никак не ограничены.

Варианты построения одной иерархии А, В, С получаются путем сочетания ответов на два вопроса, представленных в табл. 1. Вариант D объединяет несколько иерархий, каждая из которых может строиться различными способами.

Наиболее распространенной является модель А. Эта модель используется в иерархии директорий файловой системы, а также реализована во множестве систем для организации информации.

Модель В в упрощенном, одноуровневом виде известна как способ организации с помощью "тэгов", или "меток". Информационные системы, использующие данную модель, как правило, не вводят никакой иерархии, собирая все метки на одном уровне. Это можно рассматривать как одноуровневую иерархию, т. е. есть один родительский узел, который содержит в себе все дочерние подмножества.

Модель С встречается как расширение модели В в программе для ведения заметок Evernote. Данная

система позволяет строить иерархию меток, однако родительские метки никак не связаны с дочерними. То есть, выбрав родительскую метку, можно увидеть только те объекты, которые связаны непосредственно с ней. Чтобы увидеть объекты, связанные с дочерними метками, нужно выбрать каждую из них в отдельности. В таком случае теряется какой-либо смысл в отношении родитель — потомок как отношении между множествами. Поэтому в варианте С более рационально узлами дерева считать не множества информационных объектов как таковые, а группы, объединяющие другие узлы и листья дерева.

Модель D слабо распространена, однако в ограниченном виде присутствует в некоторых системах. Например, часто метки и директории сосуществуют одновременно. Так, в программе Evernote заметки можно располагать в блокнотах (аналоги директорий) и в то же время прикреплять к ним произвольные метки. Таким образом, мы имеем две независимые модели, которые существуют одновременно.

Предлагаемая структура базы систематизации

Все описанные типы взаимосвязи между множествами можно объединить в одну обобщенную модель, основанную на использовании элементов систематизации трех различных типов, представленных в табл. 2.

Таблица 2

Элементы систематизации обобщенной модели

Элемент систематизации	Свойства элемента
Директория	Содержимое директорий на одном уровне иерархии не пересекается. Все дочерние элементы ограничены содержимым директории
Метка	Содержимое меток на одном уровне иерархии может пересекаться. Все дочерние элементы ограничены содержимым метки
Группа	Не содержит собственных элементов, но образует уровень иерархии. Дочерние элементы ограничены содержимым родителя группы (если родитель — другая группа, то ограничены содержимым ближайшего родителя, имеющего собственные элементы, если таковой существует)

Таблица 1

Принцип формирования вариантов иерархической организации множеств

Вариант	Потомки могут пересекаться?	Потомки ограничены родителем?
А	—	+
В	+	+
С	±	—

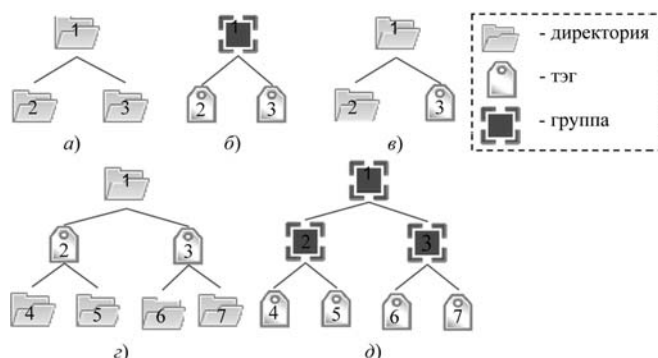


Рис. 5. Некоторые варианты построения иерархий

Строя иерархию из данных элементов систематизации, можно моделировать все описанные способы отношения множеств. С помощью директорий можно построить модель А, меткам соответствует модель В, группы образуют модель С и D. Рассмотрим некоторые варианты построения иерархий на их основе (рис. 5).

Иерархия, построенная с помощью директорий (под литерой "а" на рисунке) будет соответствовать классической иерархии директорий в файловой системе. Структуру общеизвестного способа систематизации в виде облака тэгов, или меток, можно представить с помощью группы и содержащихся в ней меток (литера "б" на рисунке).

При комбинировании всех трех элементов можно получить более сложные варианты структур. Под литерой "в" на рисунке на одном уровне иерархии расположена метка и директория. При этом оба этих элемента находятся в одной роди-

тельской директории. Таким образом, элементы 2 и 3 будут содержать подмножества элемента 1 и смогут пересекаться. Другой интересный случай изображен под литерой "г", в котором содержимое директорий 4, 5 может пересекаться с содержимым директорий 6, 7, так как могут пересекаться множества их родительских меток 2 и 3. Это не нарушает целостности модели, поскольку директории ограничены только тем, что их содержимое не пересекается с другими директориями на одном уровне иерархии. Пересечения с другими уровнями иерархии зависят уже от типа родительских элементов.

Вариант использования групп изображен под литерой "д". Группы позволяют группировать другие элементы систематизации, не накладывая на них никаких ограничений. Группы не содержат собственных элементов, поэтому их потомки ограничены только содержимым родителя самой группы, если таковой имеется. Подобный способ систематизации, в частности, используется в программе Evernote для иерархической организации меток, о чем уже упоминалось выше.

Рассмотрим операции по работе с множествами в контексте поддержания целостности модели, т.е. выполнение ограничений, указанных в табл. 2. Операции представлены в табл. 3.

Как видно из таблицы, ограничение накладывается только на операции добавления и удаления объекта. Все остальные операции легко реализуются через эти две базовые операции и поэтому не требуют особой логики для поддержания целостности.

Рассмотренная обобщенная модель, с одной стороны, может использоваться как самодостаточный инструмент для систематизации информационных

Таблица 3

Поддержание целостности в обобщенной модели

Операция	Ограничение	Действие
Добавление объекта в директорию или тэг	Дочерние элементы ограничены содержимым родителя	Добавить объект также во все родительские множества, которые имеют собственные элементы (тэги и директории)
Добавление объекта в директорию	Содержимое директорий на одном уровне иерархии не пересекается	Если объект принадлежит другой директории, то 1) подниматься по иерархии обеих директорий вверх до тех пор, пока не встретятся элементы, находящиеся на одном уровне; 2) если оба этих элемента являются директориями, удалить объект из директории либо запретить операцию
Удаление объекта из директории или метки	Дочерние элементы ограничены содержимым родителя	Удалить объект из всех дочерних элементов либо отменить операцию.
Перенос элемента в другое место иерархии	—	1. Создание копии элемента и его дочерних элементов в целевом месте иерархии. 2. Удаление оригинального элемента и его дочерних элементов*. 3. Добавление объектов в копии элементов с проверкой всех ограничений
Объединение двух элементов	—	1. Удаление объединяемых элементов*. 2. Создание объединенного элемента. 3. Добавление объектов в объединенный элемент с проверкой всех ограничений
Смена типа элемента	—	1. Удаление исходного элемента*. 2. Создание целевого элемента. 3. Добавление в целевой элемент объектов с проверкой всех ограничений

* При удалении необходимо выбрать, следует или нет удалять объекты также из родительских элементов. Этот выбор не может быть сделан автоматически, так как имеет прагматическую составляющую.

объектов. С другой стороны, данная модель может служить базой для построения других, более сложных способов систематизации. Например, представляется перспективным осуществлять привязку элементов данной модели к элементам модели процессов предметной области или структурной иерархии компании. Такая привязка позволит четче сформулировать семантику и содержание элементов систематизации, а также упростит поиск нужных информационных объектов, так как модель будет оперировать с хорошо известными сотрудникам сущностями и процессами.

Заклучение

Основным преимуществом рассмотренной модели систематизации является ее обобщающий характер. Данная модель, во-первых, включает в себя все основные возможные варианты иерархической взаимосвязи множеств, а во-вторых, позволяет смоделировать уже существующие способы систематизации, такие как директории и метки вместе, а не по отдельности. При использовании только элементов вида "директория" мы получаем семантику, аналогичную семантике файловой системы. При использовании только элементов типа "метка" без иерархических взаимосвязей формируется классическая форма использования меток в современных информационных системах. Объединение же меток, директорий и групп позволяет повысить гибкость модели, делая возможным описание более

сложных свойств информационных объектов, подлежащих систематизации.

Предполагается, что данная модель будет реализована в виде программной системы управления знаниями для автоматизации процессов экстернализации, интернализации и комбинации (согласно модели, введенной Нонака и Такеучи [7]). Дальнейшее направление исследований в данной области заключается в изучении алгоритмов взаимодействия с пользователями системы, а также в построении других моделей систематизации более высокого уровня, основанных на использовании описанной обобщенной модели.

Список литературы

1. Мильнер Б. З. Концепция управления знаниями в современных организациях // Российский журнал менеджмента. Институт экономики РАН, Государственный университет управления. 2003. № 1. С. 57–76.
2. Гаврилова Т. А., Кудрявцев Д. В. Информационные технологии управления знаниями. URL: <http://bigc.ru/publications/bigspb/km/itkm/> (дата обращения 20.02.2016).
3. Тузовский А. Ф., Чириков С. В., Ямпольский В. З. Системы управления знаниями (методы и технологии) / Под общ. ред. В. З. Ямпольского. Томск: Изд-во НТЛ, 2005. 260 с.
4. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование. 2-е изд. М.: Вильямс, 2010. 720 с.
5. Марка Д., Клемент М. Методология структурного анализа и проектирования SADT. М.: Метатехнология, 1993. 284 с.
6. Богатырев П. Ю., Коскин А. В. Систематизация информации при реализации инновационных проектов IT-компаниями // Информационные системы и технологии. 2016. № 2. С. 51–58.
7. Нонака И., Такеучи Х. Компания — создатель знания. Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах: Пер. с англ. А. Трактинского. М.: ЗАО "Олимп-Бизнес", 2011. 384 с.

P. Yu. Bogatyrev, Postgraduate, e-mail: PFight77@gmail.com,
A. V. Koskin, Professor, e-mail: kav1959@rambler.ru
Orel State University named after I. S. Turgenev

Structure of Integrated Information Space of a Company, Based on Set-Theoretic Approach

Approach of developing a content management system of organization in information structure aspect is presented in the article. Generalized model of information systematization that combine known methods, used in modern content management systems is introduced. The core of the model is a set-theoretic approach for structuring a data.

Keywords: information, knowledge management, content management systems, organization, model, systematization, structuring, set theory, hierarchy, tags

References

1. Mil'ner B. Z. Konceptija upravlenija znanijami v sovremennyh organizacijah (Concept of knowledge management in modern organizations). *Rossijskij zhurnal menedzhmenta*, Institut jekonomiki RAN, Gosudarstvennyj universitet upravlenija, 2003, no. 1, pp. 57–76.
2. Gavrilova T. A., Kudrjavcev D. V. Informacionnye tehnologii upravlenija znanijami (Information systems for knowledge management). URL: <http://bigc.ru/publications/bigspb/km/itkm/> (access date 20.02.2016).
3. Tuzovskij A. F., Chirikov S. V., Jampol'skij V. Z. Pod obshh. red. V. Z. Jampol'skogo. *Sistemy upravlenija znanijami — metody i tehnologii* (Systems of knowledge management — methods and technologies), Tomsk: Izd-vo NTL, 2005. 260 p.

4. Buch G. *Ob#ektno-orientirovannyj analiz i proektirovanie* (Object-Oriented Analysis and Design with Applications). 2-e izd, Moscow: Vil'jams, 2010, 720 p.
5. Marka D., Klement M. *Metodologija strukturnogo analiza i proektirovanija SADT* (Structured Analysis & Design Technique), Moscow, Meta Tehnologija, 1993. 284 p.
6. Bogatyrev P. U., Koskin A. V. Sistemativacija informacii pri realizacii innovacionnyh proektov IT-kompanijami (Systematization of information in the implementation of innovative projects it-companies), *Informacionnye sistemy i tehnologii*, 2016, no. 2, pp. 51–58.
7. Nonaka I., Takeuchi H. *Kompanija — sozdatel' znanija. Zarozhdenie i razvitie innovacij v japonskih firmah* (The Knowledge — Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation). [Per. s angl. A. Traktinskogo], Moscow: ZAO "Olimp-Biznes", 2011. 384 p.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ INTELLIGENT SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

УДК 621.391:004.934

О. Я. Родькина, канд. техн. наук, доц., olgarodkina04@gmail.com,

В. А. Никольская, канд. филол. наук, доц., nivr08@rambler.ru

Нижегородский государственный лингвистический университет им. Н. А. Добролюбова,
Нижний Новгород

К проблеме распознавания психоэмоционального состояния человека по речи с использованием автоматизированных систем

Проведено исследование возможности использования программного комплекса "Фонетический детектор лжи", основанного на методе оценки качества речи по общесистемному шенноновскому критерию минимума требуемой избыточности, для экспресс-оценки психоэмоционального состояния человека по его речи. Полученные результаты открывают новые перспективные направления использования ФДЛ как эффективного инструмента в задачах психолингвистики и гендерного анализа.

Ключевые слова: информатика, человеко-машинное взаимодействие, технологии распознавания речи, информационная теория качества речи, фонетический детектор лжи, психолингвистика

Введение

Речь служит человеку, прежде всего, для передачи смысла сообщения. Но это лишь одна из ее функций, поскольку она является еще и инструментом реализации и идентификации эмоционального состояния человека. Ведь в речи передаются самые тонкие эмоции, уловить которые не всегда возможно даже человеческому уху или специалисту. Именно поэтому проблема автоматического распознавания психоэмоционального состояния человека по его голосу представляет значительный интерес как в теоретическом плане, так и для решения различных прикладных задач: в педагогике при обучении иностранным языкам; в психологии для определения личности по голосу, для изучения коммуникативных процессов; в теории массового обслуживания для улучшения качества обслуживания в call-центрах; в медицине и других сферах.

Анализ работ по данной проблематике позволил выделить в целом несколько групп признаков и методов, позволяющих на современном этапе с тем или иным успехом идентифицировать различные речевые образцы: амплитудно-частотные признаки, кепстральные, спектрально-временные и на основе нелинейной динамики [1]. Однако все указанные подходы имеют некоторые недостатки. Так, в источнике [1] показано, что распознавать и идентифицировать различные эмоции с помощью прос-

тых спектральных характеристик звукового сигнала некорректно. Амплитудно-частотные признаки используют многие исследователи, поскольку они информативны. Например, в качестве акустических коррелятов эмоциональных и функциональных состояний рассматривается ряд частотных, временных и мощностных характеристик голоса. Показано, в частности, что стенические состояния повышают основной тон, а астенические ведут к понижению показателей основного тона. Обнаружена взаимосвязь между акустическими параметрами речи в эмоциональном состоянии, обусловленная индивидуальными особенностями говорящих, но использование этих признаков в качестве инструмента идентификации эмоционально окрашенной речи в полной мере, по мнению исследователей, не представляется возможным [2, 3]. Спектрально-временные признаки позволяют отражать своеобразие спектра голосовых импульсов у разных лиц, характеризуют особенности речи, связанные со скоростью перестройки артикуляционных органов речи говорящего, характеризуют синхронность их работы. В то же время в этой группе признаков были выделены параметры, остающиеся неизменными при повышении уровня сигнала [4]. Группа признаков эмоционально окрашенной речи по кепстральным коэффициентам позволяет выделить сигнал возбуждения из сигнала речи. Для группы признаков не-

линейной динамики [5] речевой сигнал рассматривается как скалярная величина, наблюдаемая в системе голосового тракта человека. Экспериментально доказано, что выявленные различия в форме аттракторов можно использовать для диагностических правил и признаков, позволяющих распознать и верно определить различные эмоции в эмоционально окрашенной речи [1].

Однако, несмотря на множество исследований, на наш взгляд, проблема автоматического распознавания эмоционального состояния человека по речи на данный момент является не просто не полностью решенной, но и трудно решаемой. Трудность ее целостного решения связана, прежде всего, с отсутствием модели описания "эмоциональных" речевых образцов. Кроме того, сам процесс постановки математической задачи распознавания эмоций по речи человека является весьма сложным ввиду многокритериальности этой задачи.

Выходом из сложившейся ситуации может стать использование для решения некоторого круга практических задач *Фонетического детектора лжи* (ФДЛ), разработанного профессором В. В. Савченко и зарегистрированного в Роспатенте [6]. В данной разработке используется принципиально новый подход, основанный на автоматической оценке качества речи диктора на базовом, фонетическом уровне по общесистемному шенноновскому критерию минимума требуемой избыточности (МТИ) речевого сигнала [7]. Эта методика является попыткой преодоления проблемы многокритериальности устной речи с позиций теоретико-информационного подхода [7].

Методика оценки качества речи на основе теоретико-информационного подхода

В основе оценки минимума требуемой избыточности (ОМТИ) используется выражение для относительного значения требуемой избыточности речевого сигнала по формуле относительной частоты

$$\hat{\alpha} = \frac{m_0}{N} 100 \% \quad (1)$$

появления нечетких (сомнительных) фонем m_0 в серии из N последовательных наблюдений x над речевым сигналом на интервале длиной в одну минимальную речевую единицу каждый. При этом признаком отмеченной нечеткости фонем в процессе их восприятия условным слушателем служило ограничение сверху

$$J^{-1} \sum_{j=1}^J \rho \left(\frac{x}{x_j} \right) \leq \rho_0 \quad (2)$$

на значение их информационного рассогласования по Кульбаку — Лейблеру

$$\rho \left(\frac{x}{x_j} \right) = F^{-1} \sum_{f=1}^F \frac{\left| 1 - \sum_{m=1}^p a_j(m) e^{-\frac{j\pi m f}{F}} \right|^2}{\left| 1 - \sum_{m=1}^p a_x(x) e^{-\frac{j\pi m f}{F}} \right|^2} - 1 \quad (3)$$

в среднем по кластеру $\{x_j\}$ одноименных (однофонемных) речевых единиц из фонетической базы данных диктора. Здесь J — объем кластера; $\{a_x(m)\}$, $\{a_j(m)\}$ — авторегрессионные (АР) векторы коэффициентов тестируемого и опорного (j -го) сигналов в пределах данного фонетического кластера порядка $p > 1$; f — дискретная частота, F — ее верхняя граница, равная половине частоты дискретизации голосового сигнала. Это стандартная формулировка метода обеляющего фильтра и критерия минимума информационного рассогласования (МИР) [8].

Точность и надежность ОМТИ нетрудно охарактеризовать с помощью классического неравенства Бернулли:

$$P \left\{ \left| \frac{m_0}{N - \alpha} \right| \leq \varepsilon \right\} > 1 - \frac{\alpha(1 - \alpha)^\Delta}{(\varepsilon^2 N)^\Delta} = \beta. \quad (4)$$

Если задать в формуле (4) допустимую ширину доверительного интервала $\varepsilon \leq 0,05$, то для случая $\alpha \leq 0,1$ получим доверительную вероятность β около 0,99 и выше при объеме выборки N , равном 10 000 и более. С учетом размерности вектора x (80 отсчетов речевого сигнала) и заданной частоте дискретизации (8 кГц), объем выборки N достигает нужного значения на интервале наблюдения длиной около 1,5...2 мин [7]. Это говорит об уникальных динамических свойствах предложенной оценки.

Постановка задачи исследования

Целью проведения данного исследования была проверка гипотезы о возможности выявления психоэмоционального состояния человека по его речи с помощью описанной выше методики определения оценки минимума требуемой избыточности. В качестве инструмента, позволяющего в автоматизированном режиме проводить вычисление данного показателя, был использован программный комплекс ФДЛ, реализующий описанную выше методику. ФДЛ представляет собой информационную систему [9], разработанную на платформе Java SE 1.6, которая на основе обработки звукового сигнала по алгоритму (2)—(4) определяет "качество речи" говорящего, фиксируя его в такой количественной характеристике, как *избыточность речевого*



Рис. 1. Интерфейс программы ФДЛ при работе в режиме "Настройка параметров"

сигнала. Полученное значение избыточности, по сути, показывает процентное соотношение числа "нечетких" (нераспознаваемых однозначно) фонем к их общему числу в анализируемом звуковом сигнале, при этом сравнение проводится по сформированной ранее и запатентованной [6] фонетической базе русского языка. В результате определяется показатель качества речи в виде показателя "избыточности сигнала" (рис. 1), под которым понимается выборочная оценка ОМТИ согласно выражению (1).

Величина, названная в программе "Пороговый уровень МИР" (см. рис. 1) — это параметр $\mu_0 \leq 1$, который определяет правую часть неравенства (2) согласно пропорциональной зависимости

$$\rho_0 = \mu_0 K - 1,$$

где K — коэффициент пропорциональности.

Частота дискретизации встроенного АЦП была установлена равной стандартному значению при обработке разговорной речи — 8 кГц.

Описание эксперимента

Эксперимент проводили с группой студентов НГЛУ (10 человек в возрасте 19–20 лет, примерно одного уровня образования; 6 молодых мужчин и 4 девушки), при этом тестирование проходило в начале и в конце учебного дня (8.15 — первая пара, 16.40 — окончание занятий). В качестве психоэмоциональной нагрузки использовались естественная усталость студентов после полного учебного дня и раздражение от неожиданной новости о необходимости дополнительно задержаться на неопределенное продолжительное время для продолжения эксперимента в обязательном порядке.

Основываясь на проведенных ранее исследованиях [10, 11], в которых было показано, что предложенный показатель качества речи ОМТИ практически инвариантен к выбору текста для чтения, времени и длительности его записи и, вместе с тем, сильно критичен по отношению к пороговому уровню МИР, все измерения ОМТИ проводили при фиксированном пороге МИР (μ_0), равном 0,1 (рекомендуемом разработчиками ФДЛ [9]).

Для каждого испытуемого эксперимент был организован следующим образом.

1. На первом этапе исследований для каждого испытуемого было вычислено предварительное значение ОМТИ в режиме настройки программы ФДЛ (см. рис. 1). Для этого испытуемым в комфортном режиме было предложено прочесть отрывок одного и того же художественного текста в течение 40...60 с. Формируемые речевые сигналы сначала были записаны в память ПК в формате wav. Его роль выполнял современный ноутбук Acer Extensa 5620, 2 Гбайт ОЗУ, Windows 7. После обработки сигнала с помощью программы ФДЛ рассчитывалось и фиксировалось значение ОМТИ (в программе названо избыточностью сигнала, см. рис. 1) для каждого участника испытаний.

2. На следующем этапе исследовали динамику значения оценки качества речи испытуемого при длительном говорении с использованием его предварительной (базовой) ОМТИ. Данная часть эксперимента проходила в два этапа: до и после занятий студентов. В рабочем режиме программы проводили анализ звукового строя речи в течение 12–15 кадров (1 кадр соответствует 10 с), результаты которого в он-лайн режиме отображались в виде графика (рис. 2) соответствующего динамического ряда значений избыточности (ОМТИ). График, пред-

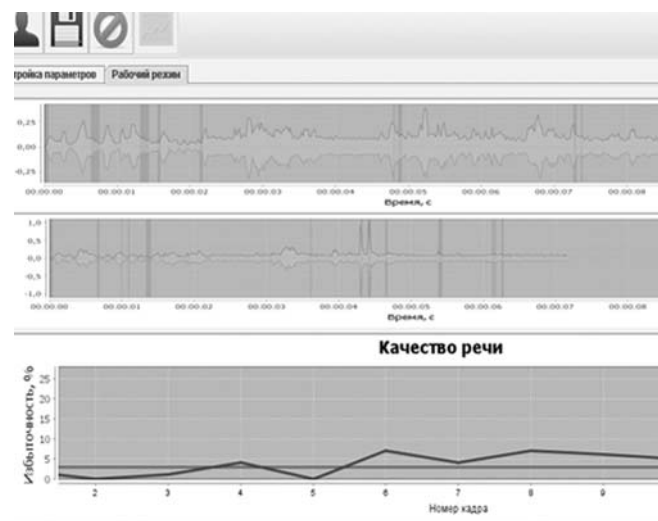


Рис. 2. Интерфейс программы ФДЛ при запуске в "Рабочем режиме" (тестируется испытуемый в спокойном состоянии)

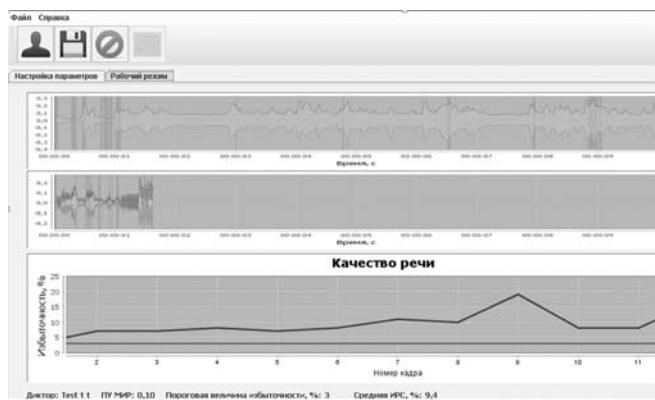


Рис. 3. Интерфейс программы ФДЛ при запуске в "Рабочем режиме" (тестируется испытуемый в состоянии эмоционального дискомфорта)

ставленный на рис. 2 (в нижней части основного интерфейсного окна программы в "Рабочем режиме"), типичен для всех испытуемых и показывает, что избыточность речи в спокойном состоянии испытуемого колеблется вблизи уровня ее предварительной оценки, в данном случае равном 3 %.

Аналогичные замеры проводили с каждым студентом в конце учебного дня. Пример графика изменения значения относительной избыточности речи в состоянии эмоциональной нагрузки приведен на рис. 3 (на всех рисунках представлены данные одного испытуемого).

Результаты эксперимента

Результаты оценок ОМТИ по 10 реализациям голосового сигнала каждого испытуемого, полученным в комфортных условиях и после психоэмоциональной нагрузки, приведены в следующих таблицах: табл. 1 — при комфортных условиях в начале дня, табл. 2 — после психоэмоциональной нагрузки в конце дня. Нумерацию испытуемых проводили внутри групп, сформированных по половому признаку, при предварительном упорядочении их базовой оценки ОМТИ по возрастанию.

На базе полученных экспериментальных данных были проведены расчеты средних значений ОМТИ (по 10 реализациям) для каждого испытуемого, характеризующих его "качество речи" в спокойном состоянии и в состоянии психоэмоциональной нагрузки (табл. 3). Видно, что усредненное значение ОМТИ во втором случае значительно выше для каждого испытуемого (абсолютное и относительное изменения усредненной оценки ОМТИ по каждому диктору приведены в табл. 3) и в 80 % случаев (по данной выборке) более чем в 2 раза превосходит значение ОМТИ речевого сигнала, характерной для спокойного состояния говорящего. Это наглядно показано на рис. 4, где представлены

Таблица 1

Результаты измерений ОМТИ в спокойном состоянии испытуемых

Номер реализации	Студентки дикторы (Ж)				Студенты дикторы (М)					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,0	5,0	7,4	13,4	7,6	1,7	6,2	10,3	42,0	44
2	1,6	0,2	4,8	9,1	7,9	0,2	4,4	6,2	51,0	47
3	0,1	1,4	13,0	4,6	3,1	1,6	6,6	7,0	40,0	42,5
4	1,4	0,0	11,0	3,2	0,9	4,8	7,7	9,8	38,0	48
5	0,0	7,5	5,0	3,8	2,9	0,2	5,6	3,5	25,0	45
6	1,6	3,0	3,3	5,3	2,9	7,0	4,1	8,0	52,0	47,8
7	0,2	4,7	5,0	7,2	0,1	4,7	7,5	5,0	53,0	44
8	3,9	0,2	2,8	12,1	2,7	7,5	5,6	9,8	29,0	45
9	1,8	1,6	5,0	8,5	0,0	5,6	4,1	15,1	56,0	49
10	0,0	1,7	3,2	5,1	3,1	5,0	4,2	7,9	42,0	42,7
Среднее значение	1,1	2,5	6,1	7,2	3,1	3,8	5,6	8,3	43	45,5

Таблица 2

Результаты измерений ОМТИ испытуемых после психоэмоциональной нагрузки

Номер реализации	Студентки дикторы (Ж)				Студенты дикторы (М)					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	18,0	22,5	39,0	32,7	8,0	9,8	15,5	22,1	67,0	54,0
2	28,0	13,5	36,0	15,8	6,4	9,6	8,1	30,1	53,0	52,0
3	22,0	22,0	40,0	34,8	4,7	5,8	20,4	13,2	65,0	48,0
4	19,5	20,0	35,0	14,6	3,1	20,0	15,5	10,3	52,0	56,0
5	26,0	7,0	17,0	18,5	15,0	10,9	17,4	21,8	48,0	57,0
6	9,5	8,0	38,0	19,2	7,1	10,0	15,5	27,3	57,0	50,8
7	20,0	10,5	10,0	25,2	14,8	10,0	12,5	11,5	39,0	52,0
8	22,4	14,3	10,2	20,7	11,3	8,9	15,6	12,5	48,0	56,5
9	35,0	10,5	13,0	24,3	15,1	8,8	15,1	13,2	57,0	51,0
10	19,2	13,0	7,0	26,1	7,8	10,5	10,0	9,5	67,0	53,0
Среднее значение	22,0	14,1	24,5	23,2	9,3	10,4	14,6	17,2	54	53

Таблица 3

Результаты расчетов абсолютного и относительного изменений ОМТИ в состоянии психоэмоциональной нагрузки испытуемого

Номер испытуемого-диктора	ОМТИ (усредненное значение по результатам 10 испытаний)		Абсолютное изменение среднего значения ОМТИ	Относительное изменение среднего значения ОМТИ, %
	в спокойном состоянии	в состоянии психоэмоциональной нагрузки		
ж	1	1,1	22	1900
	2	2,5	14,1	464
	3	6,1	24,5	302
	4	7,2	23,2	222
м	5	3,1	9,3	203
	6	3,8	10,4	176
	7	5,6	14,6	161
	8	8,3	17,2	107
	9	43,0	54,0	26
	10	45,5	53,0	16

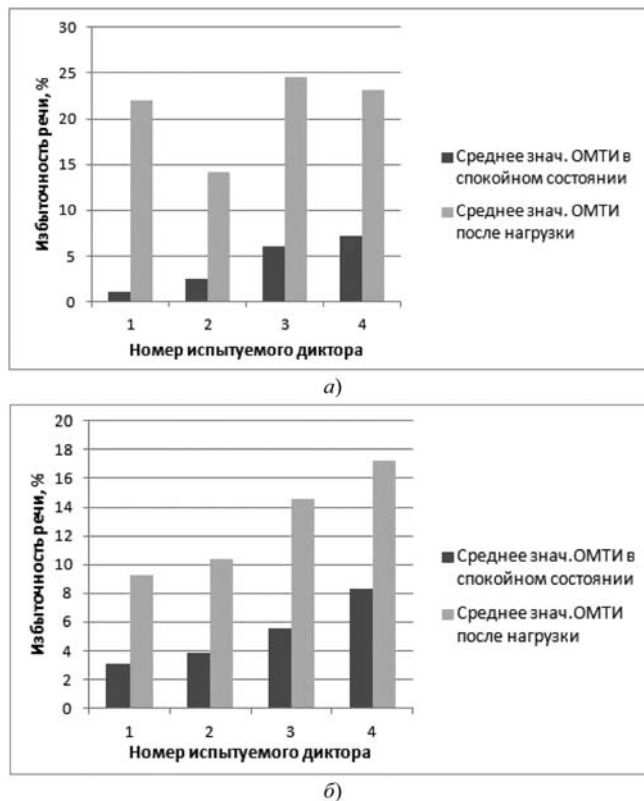


Рис. 4. Гистограммы относительного значения требуемой избыточности в спокойном состоянии и после психоэмоциональной нагрузки испытуемых:

а — испытуемые женского пола; *б* — испытуемые мужского пола

гистограммы среднего значения ОМТИ для нескольких испытуемых (рис. 4, *а* — женского пола, рис. 4, *б* — мужского пола), определенных по результатам их тестирования в спокойном состоянии и в состоянии психоэмоциональной нагрузки. Полученные результаты однозначно свидетельствуют о том, что ФДЛ "распознает" психоэмоциональное состояние говорящего по изменению фонетического строя его речи.

Заключение

Анализ полученных результатов полностью подтверждает исходную гипотезу о возможности использования ФДЛ как эффективного инструмента для быстрого и точного выявления состояния эмоционального возбуждения человека на основе анализа его речи. Этот вывод наглядно подтверждается графиками, построенными по сводным данным таблиц 1, 2 (см. рис. 4, *а* — дикторы из женской группы, рис. 4, *б* — дикторы из мужской группы). Видно, что значение избыточности речи для одного и того же человека существенно меняется в состоянии психоэмоционального дискомфорта (напряжения). Более того, результаты исследования позволили выявить количественно гендерную особен-

ность указанного влияния. Так, отражение в звучащей речи повышенного эмоционального фона у женщин (см. рис. 4, *а*) превышает соответствующие показатели мужской группы испытуемых (см. рис. 4, *б*).

В ходе проведения эксперимента был выявлен еще один интересный факт: рассматриваемая оценка качества речи (даже в спокойном состоянии) может сильно отличаться для разных испытуемых. Так, для некоторых участников эксперимента (в данной выборке 20 %) характерный уровень показателя качества речи был существенно выше остальных (избыточность более 40 %, тогда как основная группа имела показатели до 8,5 %) при том, что дефектов речи у них не наблюдалось. В связи с этим можно сделать вывод о существенном влиянии на уровень ОМТИ личностных характеристик человека. Данные заключения по-видимому будут являться предметом дальнейших исследований и направлением расширения области применения ФДЛ как в прикладных областях психолингвистики (экспресс-анализ психотипа реципиента, качества работы *call*-центров и т.п.), так и в теоретических исследованиях (гендерный анализ).

Список литературы

1. Сидоров К. В., Филатова Н. Н. Анализ признаков эмоционально окрашенной речи // Вестник Тверского государственного технического университета. 2012. Вып. 20. С. 26—31.
2. Адашинская Г. А., Чернов Д. Н. Акустические корреляты индивидуальных особенностей функциональных и эмоциональных состояний // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2007. Т. 41, № 2. С. 3—13.
3. Сидоров К. В., Калужный М. В. К вопросу оценки эмоциональности естественной и синтезированной речи по объективным признакам // Вестник Тверского государственного технического университета. 2011. Вып. 18. С. 81—85.
4. Розалиев В. Л. Моделирование эмоциональных реакций пользователя при речевом взаимодействии с автоматизированной системой: дис. ... канд. тех. наук. Волгоград: ВГТУ, 2009.
5. Старченко И. Б., Перервенко Ю. С., Борисова О. С., Момот Т. В. Методы нелинейной динамики для биомедицинских приложений // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 9 (110). С. 42—51.
6. Патент на полезную модель № 102138. Устройство для фонетического анализа и тестирования речи / В. В. Савченко, Д. Ю. Акатьев / Роспатент: по заявке № 2010135569 от 25.08.2010. — Оп.в БИ, 2011, № 3.
7. Савченко В. В. Информационная теория качества речи // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2011. Вып. 1. С. 17—27.
8. Савченко В. В. Автоматическая обработка речи по критерию минимума информационного рассогласования на основе метода обеляющего фильтра // Радиотехника и электроника. 2005. Т. 50, № 3. С. 309—314.
9. Информационная система тестирования эмоционального состояния личности по голосу: программа для ЭВМ / А. В. Савченко, В. В. Савченко, Д. Ю. Акатьев, И. В. Губочкин / Роспатент: рег. № 2013611003 от 09.01.2013.
10. Савченко В. В., Акатьев Д. Ю. Адаптивная кластерная модель минимальных речевых единиц в задачах анализа и распознавания речи // Наука и образование. 2013. № 2. С. 323—334.
11. Савченко В. В., Пономарев Д. А. Оптимизация фонетической базы данных по группе дикторов на основе информационной теории восприятия речи // Информационные технологии. 2009. № 12. С. 7—12.

O. Ya. Rodkina, PhD, Assistant Professor, e-mail: olgarodkina04@gmail.com,
V. A. Nikolskaya, PhD, Assistant Professor, e-mail: nivr08@rambler.ru
Russian Federation, Nizhny Novgorod Linguistics University

To the Problem of Person's High Emotional State Recognition by his Speech

This article deals with the problem of the automatic recognition of high emotional state of a speaker by his speech. The complexity of this problem is largely due to the multicriteria of speech recognition, whereby a single comprehensive solution has not yet been proposed. The article provides an overview of existing approaches to the problem of person's emotional state determining by his speech, disadvantages each of them are marked. The article aims to evaluate the possibility of using an automated system, called by the authors "Phonetic Lie Detector", for automatic recognition of the state of mental and emotional excitement of the speaker by a small fragment of his sounding speech. The system works on the base of the theoretical-information approach and is founded on automatic evaluation of the speaker speech quality at the phonetic level on the system-wide Shannon criterion of the minimum required redundancy (MRR) of the speech signal. Thus the problem of the speech quality multicriteriality is achieved here by reduction to the generalized MRR criterion evaluation, forming by the comparison of elementary speech units (ESU) of the speaker with a set of ESU from the phonetic database of the Russian language. The research task was to test a group of students with the use of the PDL in the quiescent state (in the morning before classes) and in the state of emotional stress (in the evening, after study and irritating unpleasant news). The test aimed to determine the impact of their state on the speech quality evaluation, registered by the automated system. The experimental results clearly show that the PDL has a high sensitivity, thus it may be used for a rapid analysis of the emotional state of a speaker. The results may be used in theoretical researches (gender analysis) and in practice: in customer service centers, to determine the recipient psycho and the individual resistance to psychological stress.

Keywords: computer science, human-computer interaction, speech recognition technology, information theory of speech quality, phonetic polygraph, psycholinguistics

References

1. **Sidorov K. V., Filatova N. N.** Analiz priznakov jemocional'no okrashennoj rechi (Analysis of features of emotive speech), *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2012, is. 20, pp. 26–31 (in Russian).
2. **Adashinskaja G. A., Chernov D. N.** Akusticheskie korrelyaty individual'nyh osobennostej funkcional'nyh i jemocional'nyh sostojanij (Acoustic correlates of individual features of the functional and emotional states), *Aviakosmicheskaja i jekologičeskaja medicina*, 2007, vol. 41, no. 2, pp. 3–13 (in Russian).
3. **Sidorov K. V., Kaljuzhnyj M. V.** K voprosu ocenki jemocional'nosti estestvennoj i sintezirovannoj rechi po ob'ektivnym priznakam (On assessment of emotion natural and synthesized speech for objective signs), *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2011, is. 18, pp. 81–85 (in Russian).
4. **Rozaliev V. L.** Modelirovanie jemocional'nyh reakcij pol'zovatelja pri rechevom vzaimodejstvii s avtomatizirovannoj sistemoj; dis. ... kand. teh. nauk (Modeling of user emotional reactions in interaction with the automated system). Volgograd: VGTU, 2009.
5. **Starchenko I. B., Perervenko Ju.S., Borisova O. S., Momot T. V.** Metody nelinejnoj dinamiki dlja biomedicinskih prilozhenij (Methods of nonlinear dynamics for biomedical applications), *Izvestija JuFU. Tehničeskije nauki*. 2010. no. 9 (110), pp. 42–51 (in Russian).
6. **Patent** na poleznuju model' № 102138. *Ustrojstvo dlja fonetičeskogo analiza i testirovanija rechi*, V. V. Savchenko, D. Ju. Akat'ev, Rospatent: po zajavke № 2010135569 ot 25.08.2010. 2011, N 3.
7. **Savchenko V. V.** Informacionnaja teorija kachestva rechi (Information theory of speech quality), *Izv. vuzov Rossii. Radiojelektronika*, 2011, no. 1, pp. 17–27 (in Russian).
8. **Savchenko V. V.** Avtomatičeskaja obrabotka rechi po kriteriju minimuma informacionnogo rassoglasovanija na osnove metoda obe-ljajushhego fil'tra (Automatic speech processing by the criterion of minimum information mismatch based on the Whitening Filter method), *Radiotehnika i jelektronika*, 2005, vol. 50, no. 3, pp. 309–314 (in Russian).
9. **Informacionnaja sistema testirovanija jemocional'nogo sostojanija lichnosti po golosu**, *Programma dlja JeVM*, A. V. Savchenko, V. V. Savchenko, D. Ju. Akat'ev, I. V. Gubochkin, Rospatent: reg. № 2013611003 ot 09.01.2013.
10. **Savchenko V. V., Akat'ev D. Ju.** Adaptivnaja klaster'naja model' minimal'nyh rechevyh edinic v zadachah analiza i raspoznavanija rechi (Adaptive minimum speech units cluster model in problems of speech recognition and analysis), *Nauka i obrazovanie*, 2013, no. 2, pp. 323–334 (in Russian).
11. **Savchenko V. V., Ponomarjov D. A.** Optimizacija fonetičeskaj bazy dannyh po gruppe diktorov na osnove informacionnoj teorii vosprijatija rechi (Optimization of phonetic database for a group of speakers on the basis of information theory of speech perception), *Informacionnye tehnologii*, 2009, no. 12, pp. 7–12 (in Russian).

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ MODELING AND OPTIMIZATION

УДК 519.7

Ю. А. Зак, д-р техн. наук, научный эксперт и консультант,
Аахен, Германия, e-mail: yuriy_zack@hotmail.com

Математические модели эффективного подбора персонала для выполнения инновационных проектов

Показатели эффективности кандидатов на предлагаемые вакансии могут быть представлены термами лингвистических переменных или значениями различных числовых шкал. Разработаны алгоритмы преобразования этих данных в числовые значения в диапазоне $f_i \in [0, 1]$. Предложена математическая модель подбора персонала в виде одно- и многокритериальной модели линейного булевого программирования, которая предусматривает ограничения на выделенные компанией объемы заработной платы. Рассмотрены методы решения сформулированной многокритериальной задачи.

Ключевые слова: кандидаты на предложенные вакансии, лингвистические термы и числовые шкалы, нечеткие множества, критерии эффективности, многокритериальные модели булевого программирования, оптимальный выбор из множества альтернатив

Введение

Методика, математическая модель и алгоритм наиболее эффективного выбора состава квалифицированных специалистов для выполнения инновационных проектов среди множества представивших свои резюме претендентов на занимаемую должность обеспечат работу компании на необходимом и конкурентоспособном научно-техническом уровне, позволят сократить сроки и себестоимость выполняемых инновационных проектов, сократят расходы на поиск, отбор и обучения персонала, обеспечат здоровый производственный климат в коллективе, исключая сложные взаимоотношения между исполнителями.

Рассматриваются кандидаты, претендующие на данное вакантное место и подавшие свои резюме по форме, разработанной данной компанией, а также сотрудники, претендующие на повышение в должности или на дополнительный бонус.

Руководством компании и службой подбора и управления персоналом должны быть выбраны основные показатели, определяющие эффективность рассматриваемых кандидатов на каждую из предлагаемых вакансий, установлены наиболее приемлемые и граничные значения каждого из этих показателей, позволяющие провести отсев не соответствующих этим требованиям кандидатов, определены веса каждого из этих показателей в соответствии с выдвинутыми компанией требованиями к каждой предлагаемой вакансии.

Отметим, что многие из этих показателей могут быть представлены не только числовыми значения-

ми, но и термами лингвистических переменных или показателями числовых шкал. Для построения математических моделей и разработки алгоритмов принятия эффективных решений необходимо преобразование этих данных в действительные числа и представление их в виде значений отдельных полей записей базы данных множества всех претендентов. На основе полученной информации персональным отделом компании может быть сформирован банк данных потенциальных кандидатов, поля которого должны быть представлены некоторыми термами количественных или лингвистических переменных (показатели числовой шкалы, степень принадлежности к некоторому качественному интервалу). Это позволит в дальнейшем принимать основанные на математических методах анализа и с меньшей степенью субъективизма решения.

В существующих методиках по подбору персонала (см., например, работы [1–6]) были рассмотрены вопросы выбора и обоснования показателей, определяющих эффективность рассматриваемых кандидатов на занимаемую должность, форм представления резюме, проведения тестирования, телефонных переговоров и интервьюирования в целях определения уровня квалификации и опыта работы, личностных качеств, инициативности, умения работать в коллективе, заинтересованности в работе в данной компании, стремления карьерного роста и других качеств потенциальных кандидатов. Вопросам преобразования представленных в резюме и полученных по результатам интервьюирования данных о качественных показателях претендентов в форме термов лингвистических переменных в

числовую форму и построения формальных математических моделей формирования эффективного коллектива, способного успешно выполнять инновационные проекты в условиях ограниченных стоимостных ресурсов данной компании не уделялось должного внимания. В данной работе определен перечень показателей, характеризующих эффективность каждого кандидата, многие из которых могут быть представлены термами лингвистических переменных или значениями различного вида числовых шкал. С использованием методов нечеткой логики предложены алгоритмы преобразования этих данных в значения действительных переменных. На основе установленных допустимых граничных значений для каждого из показателей проводится отсев кандидатов, не соответствующих установленным компанией требованиям. На основе установленных требуемых уровней значений каждого из рассматриваемых (или целой группы) показателей сформулирована математическая модель выбора множества претендентов и формирования наиболее эффективного творческого коллектива в условиях ограничений на суммарный фонд оплаты труда в виде одно- и многокритериальной задачи булевого линейного программирования. Обсуждаются методы решения сформулированных задач.

1. Необходимый объем информации о потенциальных кандидатах

Представляется целесообразным многие сведения о потенциальных кандидатах, в отличие от традиционных форм представления резюме, сформулировать в виде перечня необходимых вопросов, ответы на каждый из которых могут быть даны в виде выбора одной из предлагаемых возможных альтернатив, приведенных в форме предлагаемого резюме. На основе полученной информации персональным отделом компании может быть сформирован банк данных потенциальных кандидатов, поля которого должны быть представлены некоторыми термами количественных или лингвистических переменных (показатели числовой шкалы, степень принадлежности к некоторому качественному интервалу).

Кроме информации, содержащейся в резюме в предлагаемой стандартной форме, для принятия предварительных решений осуществляется сбор информации о кандидате от других людей и с прежних мест работы, а также осуществляется контакт с кандидатами по телефону. В процессе сбора и анализа информации определяются такие черты личности, как самооценка, коммуникабельность и умение работы в команде, уровень личностной зрелости, склонность к риску, самоконтроль, эмоциональная устойчивость, наличие психологических отклонений, склонность к лидерству и др.

К числу показателей, определяющих эффективность научной и производственной деятельности

принимаемых на работу и работающих в коллективе сотрудников, относятся следующие частные показатели [1–6]:

f_1 — уровень квалификации, образования, знание иностранных языков, составляющими которого являются:

f_1^1 — уровень образования (доктор, кандидат наук, мастер, бакалавр, среднее специальное образование, абитуриент);

f_1^2 — университет или высшее учебное заведение, которое окончил претендент;

f_1^3 — средний балл диплома по всем или важнейшим для данного профиля работы дисциплинам;

f_1^4 — знание языков программирования;

f_1^5 — владение пакетом программ Office;

f_1^6 — степень владения необходимыми для работы иностранными языками;

f_2 — эффективность научной и теоретической деятельности;

f_2^1 — сложность, степень участия и количество выполненных по предполагаемому профилю работ, проектов;

f_2^2 — стаж работы в направлении;

f_3 — практическая эффективность выполненных разработок;

f_4 — инициативность в постановке новых задач, выдвижении новых идей и подходов;

f_5 — коммуникабельность, способность и эффективность работать в коллективе;

f_6 — исполнительская дисциплина и персональная ответственность;

f_7 — предпосылки, стремление и возможности повышения квалификационного уровня;

f_8 — возможность и желание работы во внеурочное время;

f_9 — возраст, состояние здоровья, количество дней (или процент времени отсутствия на рабочем месте по различным причинам в течение года);

f_{10} — отношение к служебным командировкам и т.д.;

f_{11} — нетрудовая деятельность (спорт, культура, проведение досуга и т.д.);

f_{12} — выдвигаемые претендентом требования по заработной плате.

Каждый оцениваемый показатель, который может рассматриваться и как частный критерий эффективности f_i , $i = 1, \dots, n$, характеризуется целой еще не предусмотренной в данной системе показателей совокупностью факторов. Например, научно-теоретическая деятельность сотрудника определяется на основе таких факторов, как подго-

товка книг, брошюр, монографий, число, качество и объем публикаций, число ссылок на них, участие в научно-исследовательских работах, выступления с докладами на симпозиумах, конференциях и семинарах, руководство аспирантами, работа с магистрами, научно-экспертная деятельность и т. д. Уровень квалификации претендента на данную должность определяется опытом работы и полученными научно-практическими результатами в данной области, соответствующими дипломами, научными степенями и квалификационными категориями, престижностью и средним баллом оканчиваемого вуза, знаниями иностранных языков, владением смежными специальностями. Практическая эффективность выполненных разработок определяется использованием их результатов различными фирмами и компаниями, а также количеством и объемом финансирования заключенных на коммерческой основе договоров. Перечисление примеров многофакторности каждого из этих показателей можно продолжить.

На 1-м этапе анализа частные показатели эффективности каждого кандидата могут быть представлены как количественными данными (действительные числа или показатели количественных шкал), так и некоторыми качественными оценками. Эксперты, опираясь на свой опыт и интуицию, предпочитают давать оценки на качественном уровне. Использование нечетких словесных понятий ("мало", "много", "значительно", "несколько", "большинство" и т. д.), которыми оперирует человек, дает возможность ввести в рассмотрение качественные описания и лингвистические переменные, а также учесть те факторы, которые не поддаются точному количественному описанию. Как правило, люди плохо воспринимают излишне детализированные шкалы значений признаков и предпочитают не более 7–10 градаций на шкале некоторого признака. Учитывая все вышеизложенное, естественно, неизбежны наличие неопределенности, субъективизма, нечетких данных.

Объективное принятие эффективных решений в этих условиях осложняется следующими факторами:

- влияния различных частных критериев и показателей эффективности работы отдельных сотрудников на комплексный критерий эффективности работы предприятия неравноценны, т.е. вносят разный вклад в интегральную оценку работы коллектива, и поэтому должны быть учтены с различными относительными весами;
- мнения отдельных экспертов относительно оценки отдельных показателей и частных критериев каждого претендента на занимаемую должность могут существенно различаться;
- иерархичность оценок частных критериев, выраженная в том, что каждый отдельный критерий верхнего уровня основывается на агрегировании ряда показателей нижнего уровня и т. д.

2. Алгоритмы преобразования термов лингвистических переменных в числовые значения

Для решения сформулированной задачи можно использовать представление лингвистических переменных и числовых шкал нечеткими множествами [7, 8]. Значение лингвистической переменной описывается функцией принадлежности $\mu_{f_i}[f_i(A^k)]$, $i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, K$, которая индивидуальна для каждого отдельного претендента и (или) исполнителя. В качестве функций принадлежности для показателей и локальных критериев, выраженных в форме действительных чисел или числовых шкал, могут быть использованы, например, функции принадлежности, представленные на рис. 1–6. При этом могут быть использованы различные виды числовых шкал, представленных на оси абсцисс (т.е. оси $f_i(A^k)$), как, например, $[-1; 1]$, $[0; 1]$, $[0; 10]$, $[0; 5]$, $[0; 7]$, $[0; 100]$, и др. Для показателей, представленных лингвистическими переменными, можно рассматривать функции принадлежности, аналогичные приведенным на рис. 1–6, которые могут быть представлены также и семью или десятью узловыми точками.

Функция принадлежности, приведенная на рис. 3, используется для показателей, у которых минимальные значения наиболее приемлемы для характеристики кандидата, например желаемый уровень заработной платы.

Характеристики узловых точек и соответствующие им значения лингвистической переменной, ис-

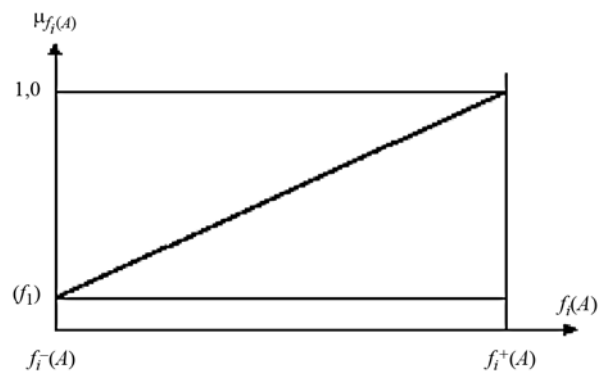


Рис. 1. Линейная функция принадлежности

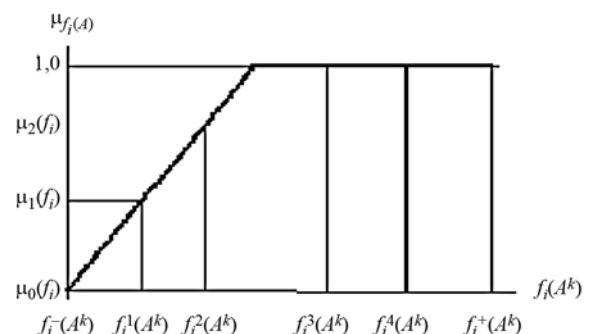


Рис. 2. Трапецевидная функция принадлежности

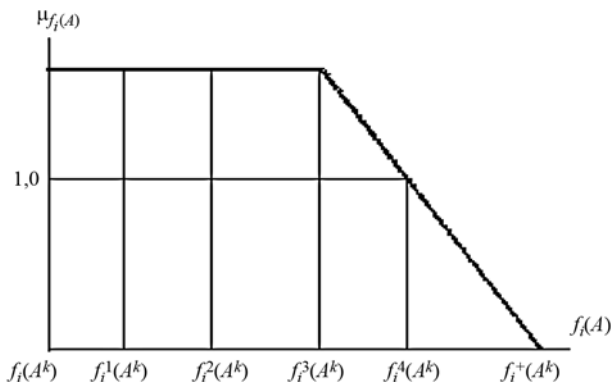


Рис. 3. Функция принадлежности трапецевидного вида

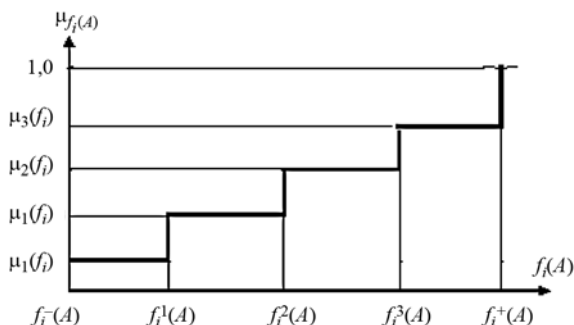


Рис. 4. Функция принадлежности с различными значениями для отдельных термов

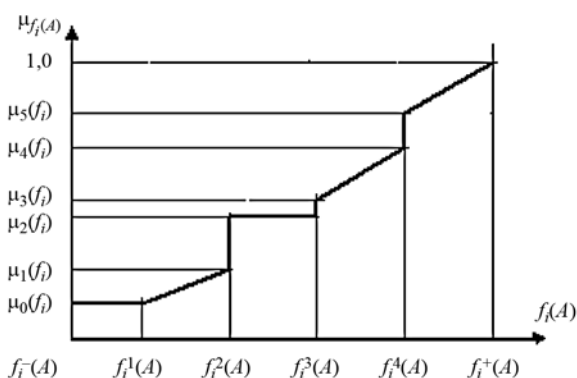


Рис. 5. Линейная функция принадлежности, различная для отдельных лингвистических термов

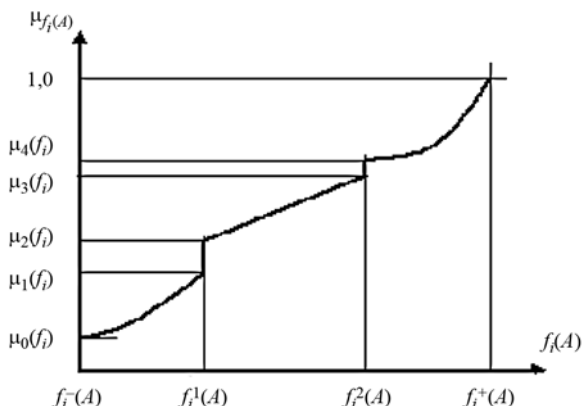


Рис. 6. Нелинейная функция принадлежности, различная для отдельных лингвистических термов

Характеристика узловых точек функции принадлежности

Точки	Значение $\mu_{f_i}[f_i(A^k)]$	Качественная характеристика объекта
1	0,0	Абсолютно неприемлемый
2	0,2	Низкий уровень
3	0,35	Минимально допустимый
4	0,5	Удовлетворительный уровень
5	0,65	Средний, вполне приемлемый
6	0,8	Очень высокое значение
7	1,0	Наивысший уровень

пользуемые для оцифровывания лингвистических термов и определяющие значения параметров уровня рассматриваемого показателя, могут быть также представлены, например, в таблице.

Следует отметить, что если некоторый частный показатель определяется несколькими локальными составляющими (например, f_1 — уровень квалификации претендента или f_2 — эффективность научной и теоретической деятельности), то числовое значение такого частного показателя на основе всех локальных показателей может определяться по одной из приведенных ниже формул операторов нечеткой логики:

$$\mu_{f_i}[f_i(A)] = \sum_{t=1}^T \vartheta^t \mu_{f_i}[f_i^t(A)], \quad (1)$$

где $0 < \vartheta^t < 1, t = 1, \dots, T$, — весовые коэффициенты, $\sum_{t=1}^T \vartheta^t = 1$;

$$\mu_{f_i}[f_i(A)] = \delta^1 \min_{1 \leq t \leq T} \mu_{f_i}[f_i^t(A)] + \delta^2 \max_{1 \leq t \leq T} \mu_{f_i}[f_i^t(A)], \quad (2)$$

$$\mu_{f_i}[f_i(A)] = \delta^1 \min_{1 \leq t \leq T} \mu_{f_i}[f_i^t(A)] + \delta^2 \sum_{t=1}^T \vartheta^t \mu_{f_i}[f_i^t(A)], \quad (3)$$

$$\mu_{f_i}[f_i(A)] = \delta^1 \prod_{t=1}^T \mu_{f_i}[f_i^t(A)] + \delta^2 \sum_{t=1}^T \vartheta^t \mu_{f_i}[f_i^t(A)], \quad (4)$$

где $0 < \delta^1 < 1$ и $0 < \delta^2 < 1$ — весовые коэффициенты, $\delta^1 + \delta^2 = 1$.

Значения частных показателей, учитывающих мнения всей группы экспертов, рассчитывают по следующим формулам:

$$\bar{\mu}_{f_i}[f_i(A)] = \sum_{m=1}^M \beta_{m,i} \mu_{f_i}[f_i(A^k)|m], \quad (5)$$

где $0 < \beta_{m,i} \leq 1, m = 1, \dots, M$, где $\sum_{m=1}^M \beta_{m,i} = 1$ — веса,

учитывающие мнения каждого эксперта при оценке i -го частного показателя, $i = 1, \dots, n$.

3. Математическая модель задачи

Рассмотрим в условиях установленных ограничений на суммарный фонд оплаты труда математическую модель задачи выбора множества претендентов и формирования наиболее эффективного творческого коллектива.

Введем следующие обозначения:

$s = 1, \dots, S$ — число предлагаемых вакансий;

$i = 1, \dots, n$ — число рассматриваемых показателей эффективности каждого претендента;

B^s — число специалистов, которые должны быть приняты на s -ю вакансию;

$\tilde{R}^s = \{1, \dots, r^s, \dots, R^s\}$ — множество кандидатов, претендующих на s -ю вакансию;

$r = 1, \dots, \dots, \bar{R}$ — общее число рассматриваемых претендентов;

$\lambda_i = \mu_{f_i}(A)$ — числовая переменная, определяющая i -й показатель эффективности претендента;

$\lambda_i^r = \mu_{f_i}(A^r)$ — значение i -го показателя эффективности r -го претендента;

$\bar{\lambda}_i^s$ — требуемое значение показателя эффективности, необходимое для s -й вакансии;

$c(r^s)$ — требуемый объем заработной платы r -го кандидата, претендующего на s -ю вакансию;

g^s и $\bar{g}^{s, \max}$ — установленный компанией средний и максимально допустимый уровень заработной платы для s -й вакансии;

G — суммарный объем допустимой выплаты заработной платы компании;

$0 \leq w_{n+1} \leq 1$ — весовой коэффициент учета отклонения заработной платы от установленного компанией среднего уровня;

w_i^s — вес, придаваемый i -му качественному признаку требований претендента на s -ю вакансию:

$$0 \leq w_i^s \leq 1, s = 1, \dots, S, \sum_{i=1}^n w_i^s + w_{n+1} = 1. \quad (6)$$

Все множество показателей эффективности $\tilde{I} = \{1, \dots, n\}$ может быть разбито на m различных по степени важности групп

$$\tilde{I}_1, \tilde{I}_2, \dots, \tilde{I}_l, \dots, \tilde{I}_m,$$

где $\bigcup_{l=1}^m \tilde{I}_l = \tilde{I}$; $\tilde{I}_l \cap \tilde{I}_p = \emptyset, l, p = 1, \dots, m, l \neq p$ (7)

каждая из которых может содержать один или несколько показателей.

Недостаточно высокое значение некоторых показателей эффективности, входящих в одну и ту же группу, или комплексного показателя эффективности (КПЭФ) одной из групп, может компенсироваться высоким значением ряда других показателей этой же группы либо высоким значением КПЭФ других групп. Так, например, недостаточный опыт работы претендента или стаж работы в направлении деятельности компании, недостаточ-

ный уровень компьютерной грамотности могут компенсироваться высоким уровнем образования, возрастом, стремлением и потенциальными возможностями повышения квалификационного уровня. В связи с этим для определения значения КПЭФ группы показателей $\tilde{I}_l = \{i_{l1}, \dots, i_{lp}, \dots, i_{ln}\}$ могут быть использованы следующие выражения:

$$\begin{aligned} \lambda_1^r(\tilde{I}_l) &= \min(\lambda_{i_{l1}}^r, \lambda_{i_{l2}}^r, \dots, \lambda_{i_{ln}}^r), \\ \lambda_2^r(\tilde{I}_l) &= \max(\lambda_{i_{l1}}^r, \lambda_{i_{l2}}^r, \dots, \lambda_{i_{ln}}^r), \\ \lambda_3^r(\tilde{I}_l) &= \frac{1}{\eta} \sum_{\rho=1}^{\eta} \lambda_{i_{l\rho}}^r, \\ \lambda_4^r(\tilde{I}_l) &= \min\left(\frac{1}{\delta} \sum_{\rho=1}^{\delta} \lambda_{i_{l\rho}}^r; \lambda_{i_{l(\delta+1)}}^r, \lambda_{i_{l(\delta+2)}}^r, \lambda_{i_{ln}}^r\right). \end{aligned} \quad (8)$$

Обозначим $h^s(\tilde{I}_l)$ и $\bar{h}^{s, \min}(\tilde{I}_l)$ — соответственно требуемое и минимально необходимое значение КПЭФ группы показателей \tilde{I}_l , для s -й вакансии;

$v^s(\tilde{I}_l)$ — вес, придаваемый значению КПЭФ группы показателей \tilde{I}_l претендента на s -ю вакансию;

$$0 \leq v^s(\tilde{I}_l) \leq 1, \sum_{l=1}^m v^s(\tilde{I}_l) + w_{n+1} = 1, l = 1, \dots, m.$$

При этом

$$\begin{aligned} L^s(\tilde{I}_l) &= \max[0; h^s(\tilde{I}_l) - \lambda_{g^s}^s(\tilde{I}_l)], \\ g &= 1, 2, 3, 4, s = 1, \dots, S, l = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (9)$$

Введем булевы переменные:

$$x^s, r = \begin{cases} 1, & \text{если } r\text{-й претендент займет} \\ & \text{s-ю вакансию} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (10)$$

$$r^s = 1, \dots, R^s, s = 1, \dots, S.$$

Определим

$$\varphi_i^{s,r} = \max(0; \bar{\lambda}_i^s - \lambda_i^r), r^s = 1, \dots, R^s, s = 1, \dots, S; \quad (11)$$

$$\bar{c}(r^s) = \max(0, c(r^s) - g^s), s = 1, \dots, S. \quad (12)$$

Необходимо предусмотреть следующую систему ограничений.

Каждый из претендентов может быть принят не более чем на одну вакансию:

$$\sum_{s=1}^S x^s, r \leq 1, r = 1, \dots, \dots, \bar{R}. \quad (13)$$

На каждую s -ю вакансию должно быть принято B^s человек

$$\sum_{r \in \tilde{R}^s} x^s, r = B^s, s = 1, \dots, S. \quad (14)$$

Суммарный объем выплаты заработной платы всех принятых специалистов не должен превышать допустимой выплаты денежных средств компании G :

$$\sum_{r=1}^{\bar{R}} c(r^s) x^{s,r} \leq G. \quad (15)$$

Если для некоторого претендента не выполняются условия

$$c(r^s) > \bar{g}^{s, \max} \quad \text{или} \quad \lambda_{i, \vartheta}^r(\tilde{I}_l) < \bar{h}^{s, \min}(\tilde{I}_l),$$

где $\vartheta = 1, 2, 3, 4$, (16)

то полагаем $x^{s,r} = 0$.

Определим $\tilde{\Omega}$ — подмножество булевых ограничений, не удовлетворяющих установленной минимальной системе ограничений (16).

Решение поставленной задачи рассматривается как выбор из допустимого множества альтернатив.

Наиболее эффективное решение (выбор значений булевых переменных $x^{s,r}$, $r \in \tilde{R}^s$, $s = 1, \dots, S$) может быть получено в результате решения однокритериальной задачи, связанной с выбором значений булевых переменных, удовлетворяющих системе ограничений (8)—(16), и минимизирующего критерия оптимальности (17):

$$E = \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^n \sum_{r \in \tilde{R}^s} (w_i^s \varphi_i^{s,r} + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \rightarrow \min. \quad (17)$$

Решение сформулированной проблемы может быть представлено также в виде решения многокритериальной задачи линейного булевого программирования

$$F_l = \sum_{s=1}^S \sum_{r \in \tilde{R}^s} (v^s(\tilde{I}_l) L^s(\tilde{I}_l) + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \rightarrow \min,$$

$l = 1, \dots, m$, (18)

или

$$\Psi_l = \sum_{l=1}^n \sum_{r \in \tilde{R}^s} (v^s(\tilde{I}_l) L^s(\tilde{I}_l) + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \rightarrow \min,$$

$s = 1, \dots, S$, (19)

в условиях системы ограничений (8)—(16).

4. Обсуждение алгоритмов решения задачи

Однокритериальная задача булевого линейного программирования (8)—(17) может быть решена известными и достаточно подробно описанными в литературе [10—12] методами.

Одним из методов решения этой многокритериальной задачи является введение некоторого обобщенного (комплексного) критерия оптимальности

на основе линейной свертки локальных критериев с различными весовыми коэффициентами

$$\Phi_1 = \sum_{l=1}^m \sigma_l F_l = \sum_{l=1}^L w_l \sum_{s=1}^S \sum_{r \in \tilde{R}^s} (v^s(\tilde{I}_l) L^s(\tilde{I}_l) + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \rightarrow \min, \quad (20)$$

где $0 \leq \sigma_l \leq 1$, $l = 1, \dots, m$, $\sum_{l=1}^m \sigma_l = 1$ — весовые ко-

эффициенты важности каждой группы критериев, значения которых определяются лицом, принимающим решение, и экспертами.

Сформулированная задача (20) в условиях ограничений (8)—(16) может быть решена алгоритмами булевого линейного программирования.

Другим подходом к решению сформулированной задачи является лексико-графическое упорядочение по степени важности на Q групп показателей: $\tilde{U} = \{\tilde{U}_1, \dots, \tilde{U}_q, \dots, \tilde{U}_Q\}$. Причем каждая из этих групп может содержать один или несколько равных по степени важности показателей.

Задача для 1-й по степени важности группы критериев формулируется и решается алгоритмами линейного булевого программирования

$$\Phi_1^2 = \sum_{s=1}^S \sum_{i \in \tilde{U}_1} \sum_{r \in \tilde{R}^s} (w_i^s \varphi_i^{s,r} + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \rightarrow \min \quad (21)$$

в условиях системы ограничений (8)—(16). Затем делается некоторая уступка $e_1 > 1$ по значению критерия оптимальности 1-й группы показателей, формулируется и решается относительно булевых переменных следующая задача:

$$\Phi_2^2 = \left\{ \sum_{s=1}^S \sum_{i \in \tilde{U}_2} \sum_{r \in \tilde{R}^s} (w_i^s \varphi_i^{s,r} + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \mid \Phi_1^2 \leq e_1 \Phi_1^2 \right\} \rightarrow \min$$

в условиях системы ограничений (8)—(16).

Следовательно, установив значения уступок по критериям оптимальности для каждой группы показателей $e_q > 1$, $q = 1, \dots, (Q-1)$, на каждом этапе принятия решений формулируют и решают следующие задачи в условиях системы ограничений (8)—(16):

$$\Phi_q^2 = \sum_{s=1}^S \sum_{i \in \tilde{U}_2} \sum_{r \in \tilde{R}^s} (w_i^s \varphi_i^{s,r} + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \rightarrow \min,$$

$q = 2, \dots, Q$, (22)

$$\sum_{s=1}^S \sum_{i \in \tilde{U}_{(q-1)}} \sum_{r \in \tilde{R}^s} (w_i^s \varphi_i^{s,r} + w_{n+1} \bar{c}^{s,r}) x^{s,r} \leq e_{(q-1)} \Phi_{(q-1)}^2, \quad q = 2, \dots, Q. \quad (23)$$

Все сформулированные задачи (22), (23) могут также решаться алгоритмами булевого линейного программирования. Результат, полученный на Q -м шаге, принимается в качестве решения задачи.

В качестве 3-го подхода может рассматриваться процесс последовательного подбора специалистов для каждой вакансии. Все рассматриваемые вакансии упорядочим в некоторую последовательность по степени их важности:

$$\tilde{V} = \{v_1, \dots, v_\eta, \dots, v_S | v_\eta > v_{\eta-1}, v = 2, \dots, S\}. \quad (24)$$

На некотором η -м шаге решения задачи определяются наиболее эффективные наборы кандидатов на η -ю вакансию в результате решения следующей задачи булевого линейного программирования:

$$\Psi_\eta = \sum_{l=1}^m \sum_{r \in \tilde{R}(v_\eta)} (v^\eta(\tilde{I}^l) L^\eta(\tilde{I}^l) + w_{n+1} \bar{c}^{\eta,r}) x^{\eta,r} \rightarrow \min \quad (25)$$

в условиях ограничений (8)—(16), а также дополнительного ограничения на оставшийся неиспользованным объем заработной платы:

$$\sum_{r \in \tilde{R}(v_\eta)} c(r^\eta) x^{\eta,r} \leq \bar{G}_\eta, \quad \eta = 1, \dots, S, \quad (26)$$

где

$$\begin{aligned} \bar{G}_1 &= G, \quad \bar{G}_\eta = \bar{G}_{(\eta-1)} - \\ &- \sum_{r \in R(v_{(\eta-1)})} c(r^{(\eta-1)}) \bar{x}^{(\eta-1),r}, \quad \eta = 2, \dots, S; \end{aligned} \quad (27)$$

$\bar{x}^{\eta,r}$ — значения булевых переменных, которые в результате решения задачи (24), (25) определены как равные 1, т.е. $\bar{x}^{\eta,r} = 1$. При решении задачи (24), (25) переменные $\{x^s, r, s = v_{(\eta+1)}, v_{(\eta+2)}, \dots, v_S | \bar{x}^{t,r} = 1, t = v_1, v_2, \dots, v_\eta\} = 0$, т.е. исключаются из рассмотрения.

Полученные на каждом этапе 3-го подхода решения значения булевых переменных $\bar{x}^{\eta,r} = 1$ определяют выполненный подбор кандидатов на каждую объявленную вакансию.

Заключение

Выбраны основные показатели, определяющие эффективность рассматриваемых на предлагаемые вакансии кандидатов и определены веса каждого из этих показателей в соответствии с выдвинутыми

компаниями требованиями для выполнения инновационных и наукоемких проектов. Так как многие из этих показателей могут быть представлены не только числовыми значениями, но и терминами лингвистических переменных или показателей числовых шкал, приведены алгоритмы преобразования этих данных в значения функций принадлежности нечетких множеств, лежащих в одном и том же диапазоне значений $[0, 1]$, которые могут рассматриваться как значения отдельных полей записей базы данных каждого из претендентов.

Предложена математическая модель подбора персонала на объявленные компанией вакансии для выполнения инновационных проектов среди подавших свои резюме кандидатов в виде одно- и многокритериальной модели линейного булевого программирования, которая предусматривает ограничения на выделенные компанией объемы заработной платы.

Предложены различные подходы к решению сформулированных многокритериальных задач, учитывающие конкретную специфику рассматриваемой проблемы.

Полученные в работе результаты направлены на обеспечение работы компании на необходимом и конкурентоспособном научно-техническом уровне, повышение качества выполнения, сокращение сроков и себестоимости выполняемых инновационных проектов, уменьшение расходов на поиск, отбор и обучение персонала, создание здорового творческого и производственного климата в коллективе.

Список литературы

1. **Кинан К.** Подбор персонала. М.: Эксмо, 2006. 80 с.
2. **Ульрих Д.** Эффективное управление персоналом: новая роль HR-менеджера в организации. М.: Вильямс, 2006. 304 с.
3. **Berthel Ju., Becker F. G.** Personal-Management. Grundzüge für Konzeptionen betrieblicher Personalarbeit. 9. Auflage. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2010. 754 s.
4. **Schmeisser W., Andresen M., Kaiser St.** Personalmanagement — UVK Verlags-gesellschaft mbH/UTB, München, 2012. 230 s.
5. **Scholz Ch.** Grundzüge des Personalmanagements. 1. Auflage. — Vahlen Verlag, Bern/ Stuttgart/Wien, 2011. 656 s.
6. **Hentze J., Kammel A.** Personal wirtschaftslehre 1, 7. Aufl. — Vahlen Verlag, Bern/Stuttgart/ Wien, 2001. 189 s.
7. **Зак Ю. А.** Принятие решений в условиях размытых и нечетких данных. М.: URSS, 2013. 352 с.
8. **Kahraman C.** Fuzzy Multi-Criteria Decision Making. Theorie and Applications with Recent Developments. New York: Springer, 2008.
9. **Книп Р. Л., Райфа Х.** Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981.
10. **Зак Ю. А.** Прикладные задачи многокритериальной оптимизации. М.: Экономика, 2014. 455 с.
11. **Корбут А. А., Финкельштейн Ю. Ю.** Дискретное программирование. М.: Наука, 1969. 368 с.
12. **Зак Ю. А.** Об одном классе задач целочисленного линейного программирования с булевыми переменными // Автоматика и вычислительная техника. 1977. № 6. С. 26—33.

An Algorithm for Selecting a Plurality of Experts to Carry out Innovative Projects among the Many Contenders for the Position Held

Performance indicators proposed candidates for the job can be represented by terms of linguistic variables or values of different numeric scales. The algorithms convert the data into numeric values in the range. A mathematical model of recruitment as a single- and multicriteria models of linear Boolean programming, which provides for restrictions on the selected company payroll amounts. The methods of solving formulated multiobjective tasks.

Keywords: candidates for job offers, linguistic terms and numerical scale, fuzzy sets, performance criteria, multicriteria Boolean programming model, the optimal choice of many alternatives

References

1. **Kinan K.** *Podbor personala*, Moscow, Eksmo, 2006, 80 p.
2. **Ulrih D.** *Effektivnoje upravljenje personalom: novaja rol HR-menedzhera v organizaciji*. Moscow, Vilijams, 2006, 304 p.
3. **Berthel Ju, Becker F. G.** *Personal-Management. Grundzüge für Konzeptionen betrieblicher Personalarbeit*. 9. Auflage. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2010, 754 s.
4. **Schmeisser W., Andresen M., Kaiser St.** *Personalmanagement — UVK Verlags-gesellschaft mbH/UTB, Mü nchen*, 2012, 230 s.
5. **Scholz Ch.** *Grundzüge des Personalmanagements*. 1. Auflage. — Vahlen Verlag, Bern/ Stuttgart/Wien, 2011, 656 s.
6. **Hentze J., Kammel A.** *Personalwirtschaftslehre 1*, 7. Aufl. — Vahlen Verlag, Bern/Stuttgart/ Wien, 2001, 189 s.
7. **Zack Yu. A.** *Prinyatije reshenij v uslovijach razmitich i nechetkich dannich*. Moscow, URSS, 2013. 352 p.
8. **Kahraman C.,** *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making. Theorie and Applications with Recent Developments*, New York, Springer, 2008.
9. **Kini R. L., Rajfa Ch.** *Prinyatije reshenij pri mnogich kriterijach: predpochtenija i zameschenija*. Moscow, Radio i svyaz, 1981.
10. **Zack Yu. A.** *Prikladnije zadachi mnogokriterialnoj optimisaziji*. Moscow, Ekonomika, 2014, 455 p.
11. **Korbut A. A., Finkelstein Yu. Yu.** *Diskretnoje programirovanije*. Moscow, Nauka, 1969, 368 p.
12. **Zack Yu. A.** Ob odnom klasse zadach zelochislennogo linejnogo programirovanija s bulevimi peremennimi, *Automatika i vychislitel'naja tehnika*, 1977, no. 6, pp. 26—33.

УДК 519.7

А. Ф. Валеева, д-р техн. наук, проф., e-mail: aida_val2004@mail.ru;

Ю. А. Гончарова, аспирант, **Р. С. Валеев**, канд. техн. наук, доц.,
Уфимский государственный авиационный технический университет

Об одном подходе к решению задач операционного планирования по доставке однородной продукции различным клиентам. Часть 1

Рассматривается решение задач операционного планирования, возникающих при доставке однородного продукта (заказа) различным клиентам — управления запасами и поиска рациональных маршрутов для доставки этого заказа. Представлены алгоритмы поиска наилучшей стратегии управления запасами и модифицированный алгоритм муравьиной колонии, позволяющий получать рациональные маршруты доставки однородного продукта (заказа) различным клиентам с одновременным учетом различных ограничений, таких как грузоподъемность транспортного средства (ТС), временные окна, период планирования, множество депо, раздельная доставка, неоднородный парк ТС, возможность возврата заказа, а также позволяющий учитывать рациональное размещение груза (заказа) в ТС во время построения рациональных маршрутов доставки.

Ключевые слова: управление запасами, маршрутизация, размещение заказа в автомобильные транспортные средства, алгоритм муравьиной колонии, основанный на популяции

Введение

У предприятия, специализирующегося на выпуске определенного вида продукции, для удовлетворения спроса клиентов на его доставку точно в срок, возникает ряд проблем, требующих принятия эффективных логистических решений. В работе [2] предложен подход для принятия таких реше-

ний, представляющий иерархическую схему, на верхнем, стратегическом уровне которой определяются цели и требования клиентов, на нижнем, операционном уровне возникает потребность в решении таких прикладных задач, как управление запасами, поиск оптимальных маршрутов транспортных средств (ТС) для доставки заказа клиентам, складирования и ряд других.

Для эффективной работы предприятия прежде всего следует определить уровень выпускаемой продукции с учетом затрат на хранение, покупку сырья, отложенные поставки. Основными элементами управления запасами являются спрос на продукцию и стратегии управления запасами [5]. В зависимости от вида спроса на продукцию применяют детерминированные или вероятностные модели управления запасами. Если спрос на продукцию неизвестен (является случайной величиной), то для выбора эффективной стратегии управления запасами, как правило, разрабатывают имитационную модель. При этом вычисляются такие оценки, как средние общие затраты, включающие в себя затраты на содержание и издержки, связанные с отложенными поставками. Если предприятие выработало эффективную политику управления запасами, следующим важным этапом является своевременная доставка сформированного заказа клиентам. С этой целью решается задача маршрутизации — поиска наилучшего маршрута ТС. В работах [6, 7] была предложена математическая модель и метод решения задачи маршрутизации однородного продукта на базе алгоритма муравьиной колонии и эволюционного алгоритма с выдачей карты размещения в ТС требуемого заказа. В данной работе предлагается модификация этого алгоритма при рассмотрении двух взаимосвязанных задач — задачи управления запасами и задачи транспортировки.

1. Постановка задачи доставки однородного заказа различным клиентам (PHPD-EVRP)

Рассмотрим следующую задачу доставки однородного заказа различным клиентам (*Problem homogeneous product delivery with Extended vehicle routing problem, PHPD-EVRP*).

Предприятие производит однородный продукт, запасы которого хранятся на арендуемом складе. Известны затраты на хранение единицы продукции в течение дня. При возникновении спроса на продукцию он немедленно удовлетворяется, если уровень запасов отвечает ее спросу. В случае нехватки запасов часть поставок откладывается, и предприятие несет убытки за каждую недостающую единицу продукции по отношению к заказанному количеству. При поступлении заказа на продукцию в первую очередь должны быть выполнены в максимальном объеме отложенные поставки. Неиспользованный остаток заказа поступает на склад. Заказ доставляют в различные регионы России автомобильными транспортными средствами (ТС) разной грузоподъемности, арендуемыми предприятием. В одном транспортном средстве находится заказ, предназначенный для доставки нескольким клиентам. Предприятие располагает складом (депо) или несколькими складами для хранения заказа, каждое ТС начинает и заканчивает свой маршрут в депо. Компания может уста-

новить временной период в размере нескольких дней, в течение которых груз должен быть доставлен клиентам. По пути доставки груза транспортному средству разрешается остановка в некоторые интервалы времени. Кроме того, каждый клиент может быть посещен более чем одним транспортным средством. При этом спрос каждого клиента может быть больше грузоподъемности транспортного средства, и клиент может быть включен в несколько маршрутов. Масса заказа не должна превышать грузоподъемности транспортного средства. Предприятие заинтересовано в минимизации стоимости пройденного пути. Требуется определить: эффективную стратегию управления запасами, позволяющую минимизировать затраты на содержание, выполнение заказа, учитывающую издержки, связанные с отложенными поставками (задача управления запасами); рациональные маршруты доставки требуемого заказа автомобильными транспортными средствами различным клиентам с возможностью выдачи карты наилучшего размещения заказа в них.

Приведенная задача решается в два этапа: на первом этапе находится эффективная стратегия управления запасами, которая более подробно описана в работе [5]. В случае, когда предприятие обслуживает постоянных клиентов и потребность в хранимой продукции известна и неизменна, применяют детерминированные модели. Если сеть клиентов расширяется, потребность в продукции является переменной величиной, и нужно поддерживать страховой запас, то рекомендуется применять вероятностные модели: модели со страховым запасом 1 (время выполнения заказа — случайная величина), со страховым запасом 2 (спрос на продукцию — случайная величина), страховым запасом 3 (время выполнения заказа, спрос на продукцию — случайные величины). Если система управления запасами имеет сложную структуру, то для выработки эффективной политики управления запасами целесообразно применять имитационное моделирование.

За основу имитационной модели была взята модель из работы [5] с некоторой модификацией, позволяющей учитывать постепенное пополнение запасов. При этом входной информацией являются: период моделирования; период контроля; начальный уровень запасов; максимальный уровень запасов; критический уровень запасов или точка заказа (возобновление запаса); интенсивность пополнения запаса; затраты на производство единицы продукции; затраты на выполнение заказа; затраты на хранение единицы продукции; издержки, связанные с отложенными поставками; стратегии управления запасами — пара, состоящая из критического уровня запасов и объема заказа; объем спроса на запас; промежутки между возникновением спроса; время выполнения заказа. Выходными данными являются средние затраты на изготовление заказа

стратегий, средние затраты на хранение для стратегий, средние издержки, связанные с нехваткой товара в месяц для стратегий, средние общие затраты в месяц для стратегий, стратегия с меньшими средними общими затратами в месяц. Случайные величины: промежутки между возникновением спроса на продукцию, спрос, время выполнения заказа. Переменные состояния: уровень запасов, количество товара в невыполненном заказе. События — возникновение спроса на товар; оценка запасов (и возможный заказ товаров); пополнение запасов. Имитационный алгоритм SCS реализации системы управления запасами более подробно рассмотрен в работе [5]. На втором этапе решается задача поиска рациональных маршрутов, математическая модель которой с учетом технологических ограничений приведена в работе [6].

В качестве входной информации в задаче маршрутизации даны:

$G = (V, A)$ — граф с множеством вершин V и множеством дуг A ;

V — множество вершин, которое делится на два подмножества $V_c = \{1, \dots, n\}$ и $V_h = \{n + 1, \dots, n + k\}$;

$V_c = \{1, \dots, n\}$ — множество городов и клиентов;

$V_h = \{n + 1, \dots, n + k\}$ — множество депо;

m_u — число ТС, расположенных в каждом депо $u \in V_h$, $m_u \in \{1, \dots, r_u\}$;

r_u — максимальное число ТС, расположенных в депо $u \in V_h$;

Q_v — грузоподъемность ТС v из депо $u \in V_h$, $Q_v \in Z^+$, где $v \in [\underline{v}, \bar{v}]$. Предполагается, что $\underline{v} = 1$ и $\bar{v} = r_u$;

q_{it} — объем спроса заказа в момент времени $t = 1, \dots, t_{predict}$, связанный с каждым клиентом $i \in V_c$ и получаемый при решении задачи управления запасами;

p_{it} — объем возвращаемого заказа в момент времени $t = 1, \dots, t_{predict}$, связанный с каждым клиентом $i \in V_c$ и получаемый при решении задачи управления запасами.

Введем ряд обозначений:

c_{ij} — расстояние между пунктами i и j , $i, j \in V_c$;

e_{ij} — время в пути между пунктами i и j , $i, j \in V_c$;

s_i — время обслуживания клиента $i \in V_c$;

$[a_i, b_i]$ — временное окно для клиента $i \in V_c$;

$penalty_time_i$ — штраф за начало обслуживания клиента $i \in V_c$ после b_i ;

w_i^{vu} — время начала обслуживания клиента $i \in V_c$ ТС v из депо $u \in V_h$;

$M_{дней}$ — период планирования доставки заказа;

x_{ij}^{vu} — переменная логического типа, принимающая значение 1, если ТС v из депо $u \in V_h$ перемещается в направлении от пункта i к пункту j , и 0 в противном случае, $i, j \in V_c$;

y_i^{vu} — это спрос i -го клиента, обслуженного ТС v из депо $u \in V_h$;

d_i^{vu} — это объем требования i -го клиента на возврат заказа, осуществленный ТС v из депо $u \in V_h$;

h_z — стоимость z -контейнера с заказом, где $z = 1, \dots, |Item_{cyl}| + |Item_{par}|$;

$|Item_{cyl}|$ — число контейнеров цилиндрической формы;

$|Item_{par}|$ — число контейнеров параллелепипедной формы;

vol_z — объем z -го контейнера, $z = 1, \dots, |Item_{cyl}| + |Item_{par}|$;

$num = (num_1, \dots, num_{|Item_{cyl}| + |Item_{par}|})$ — набор контейнеров параллелепипедной и цилиндрической форм с заказом;

$num_{|Item_{cyl}| + |Item_{par}|}$ — число контейнеров параллелепипедной и цилиндрической форм с заказом;

$penalty_pack^v$ — штраф за маршрут, не соответствующий рациональному размещению заказа в ТС v .

Требуется минимизировать общее пройденное расстояние:

$$\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{m_u} c_{ij} x_{ij}^{vu} + \sum_{i=1}^n penalty_time_i \right) \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$u = n + 1, \dots, n + k;$$

а также выбрать контейнеры минимальной стоимости:

$$\sum_z h_z num_z \rightarrow \min \quad (2)$$

при выполнении следующих условий [6]:

пройденный путь включает каждую вершину не менее одного раза

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^{m_u} x_{ij}^{vu} \geq 1; j = 1, \dots, n; u = n + 1, \dots, n + k; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{iz}^{vu} - \sum_{j=1}^n x_{zj}^{vu} = 0; z = 0, \dots, n; v = 1, \dots, m_u; \quad (4)$$

$$u = n + 1, \dots, n + k;$$

клиент i может быть обслужен на доставку и возврат заказа ТС v из депо $u \in V_h$ только, если v проходит через i :

$$y_i^{vu} + d_i^{vu} \leq (q_{it} + p_{it}) \sum_{j=1}^n x_{ij}^{vu}; i = 1, \dots, n; v = 1, \dots, m_u; \quad (5)$$

$$u = n + 1, \dots, n + k; t = 1, \dots, t_{predict};$$

спрос каждого клиента должен быть удовлетворен:

$$\sum_{v=1}^{m_u} y_i^{vu} \leq q_{it}; i = 1, \dots, n; \quad (6)$$

$$u = n + 1, \dots, n + k; t = 1, \dots, t_{predict};$$

объем требования каждого клиента на возврат заказа должен быть удовлетворен:

$$\sum_{v=1}^{m_u} d_i^{vu} \leq p_{it}; i = 1, \dots, n; \quad (7)$$

$$u = n + 1, \dots, n + k; t = 1, \dots, t_{predict};$$

масса контейнеров с заказом, размещенных в ТС v , не должна превышать грузоподъемности ТС v :

$$\sum_{i=1}^n (y_i^{vu} + d_i^{vu}) \leq Q_v; v = 1, \dots, m_u; \\ u = n + 1, \dots, n + k; \quad (8)$$

учитываются временные окна:

$$a_i \leq \sum_{v \in [y, \bar{v}]} w_i^{vu} \leq b_i; \forall i \in \{1, \dots, n\}; \quad (9)$$

$$a_i \leq w_i^{vu} \leq b_i; \forall v \in [y, \bar{v}]; i \in V_c; \quad (10)$$

$$w_j^{vu} \geq w_i^{vu} + s_i + e_{ij}; \forall i, j \in \{1, \dots, n\}; \quad (11)$$

и M -дневное планирование доставки контейнеров с заказом:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (e_{ij} + s_i) \leq M; \quad (12)$$

контейнеры с заказом должны вмещаться в ТС v :

$$fpack^v = \begin{cases} \leq 1, & penalty_pack^v = 0, \\ > 1, & penalty_pack^v = \text{const}; \end{cases} \quad (13)$$

выбираются контейнеры минимальной стоимости и максимальной заполненности их заказом $num_z \geq 0$, целые, $z = 1, \dots, |Item_{cyb}| + |Item_{par}|$; (14)

$$\sum_z vol_z num_z \leq q_{it}, z=1, \dots, N; t=1, \dots, tpredict, i \in V_c \quad (15)$$

2. Алгоритм для решения задачи доставки однородного заказа различным клиентам (RHPD-EVRP)

Для решения задачи RHPD-EVRP был разработан алгоритм, состоящий из двух основных шагов. Приведем общую схему алгоритма, каждый шаг которого — это выполнение ряда процедур.

Общая схема решения задачи RHPD-EVRP

Шаг 1. Процедура SCS (выход: стратегия с меньшими средними общими затратами) [5].

Шаг 1.1. Генерирование случайных величин: (объем спроса, промежутки между возникновением спроса).

Шаг 1.2. Моделирование работы склада для каждой стратегии.

Шаг 1.3. Подсчет затрат на хранение, рассчитать издержки, связанные с дефицитом и средние общие затраты.

Шаг 1.4. Выбор наилучшей стратегии (исходя из критерия наименьших средних общих затрат).

Шаг 2. Процедура МАРШРУТИЗАЦИЯ (выход: число депо r ; координаты депо x_u, y_u ; объем спроса клиентов в грузе q_{iinit} ; число городов и клиентов n ; координаты городов и клиентов x_i, y_i ; расстояния между пунктами i и j c_{ij} для всех пунктов i и j ; время в пути между пунктами i и j e_{ij} для всех пунктов i и j ;

параметры алгоритма α, β ; феромон τ_{ij} ; период времени M , за который должны быть обслужены все клиенты; время обслуживания s_i в городе i ; граничные значения временных окон a_i, b_i ; число агентов l ; штраф за начало обслуживания клиента после окончания временного окна, связанного с этим клиентом, $penalty_time$; упаковки параллелепипедной формы с известной длиной lp_i , шириной wp_i , высотой hp_i , массой mp_i ; упаковки цилиндрической формы itc_k с известным радиусом rc_k , высотой hc_k , массой mc_k ; число ТС m ; ТС v с известной длиной L^v , шириной W^v , высотой H^v , грузоподъемностью Q_v ; стоимость упаковок h_z ; число упаковок цилиндрической формы $Item_{cyb}$; число упаковок параллелепипедной формы $Item_{par}$; объем упаковок vol_z ;

выход: матрица, состоящая из R рациональных маршрутов, карта размещения заказа в ТС v , значение $fpack^v$ ТС v).

В процедуре МАРШРУТИЗАЦИЯ реализованы алгоритмы: Кини—Райфа, ближайшего соседа, заметания, муравьиной колонии ($P-ACO-EVRP$). Вначале строится исходный граф маршрутов $G = (V, A)$, из которого формируется матрица расстояний c_{ij} , к которой применяется метод Кини — Райфа [8], позволяющий выбрать дуги графа, удовлетворяющие взаимонезависимым по предпочтениям условиям Y^1, \dots, Y^k (например, качество дорог, уровень преступности на дорогах и т.д.). В преобразованном графе $G' = (V', A')$, из которого формируется матрица расстояний c'_{ij} , ищется кратчайший путь по алгоритму муравьиной колонии, основанному на популяции (*Population Based Ant Colony Optimization, P-ACO*) [1].

Для распределения множества клиентов с координатами x_i, y_i по депо применяется метод ближайшего соседа, при этом каждый клиент ассоциируется с ближайшим к нему депо, в результате вычисляются координаты клиентов x_i^u, y_i^u , связанных с каждым депо u . Алгоритм заметания [4] используется для распределения множества клиентов с координатами x_i^u, y_i^u по транспортным средствам. Вначале происходит разбиение множества клиентов на группы. Далее маршрут строится отдельно для каждой из созданных групп.

Основная идея алгоритма заметания состоит в следующем. Пусть каждая вершина i (клиент i) представлена ее полярными координатами (θ_i, ρ_i) , где θ_i — угол, ρ_i — длина радиуса. Зададим значение $\theta_{i*} = 0$ произвольной вершине i^* и вычислим все оставшиеся углы относительно $(0, i^*)$.

Алгоритм выполняет следующие действия:

1. Берется неиспользованное ТС k .

2. Строится маршрут с вершины, имеющей наименьший угол. ТС k приписываются вершины до тех пор, пока не будет достигнута его максимальная грузоподъемность Q_k или нарушено условие рационального размещения заказа внутри ТС k . Для анализа условия рационального размещения

заказа внутри ТС k используется процедура РАЗМЕЩЕНИЕ_ЗАКАЗА (вход: $num = (num_1, \dots, num_{|Item_{cyl}| + |Item_{par}|})$, $itp_i, lp_i, wp_i, hp_i, mp_i, itc_k, rc_k, hc_k, mc_k, L^v, W^v, H^v, Q_v$; выход: $fpack^v$). Если $fpack^v > 1$, условие рационального размещения заказа внутри ТС нарушено.

3. Если остались неиспользованные вершины, то процедуру необходимо повторить для другого ТС.

4. Для каждого ТС решается задача доставки однородного заказа различным клиентам.

На рисунке приведена иллюстрация алгоритма заметания для решения задачи маршрутизации, где номера вершин — это клиенты.

Приведем общую схему процедуры МАРШРУТИЗАЦИЯ, реализующей алгоритм получения рациональных маршрутов доставки требуемого заказа автомобильными транспортными средствами различным клиентам, состоящую из пяти шагов.

Шаг 2.1. **Метод Кини — Райфа**

Шаг 2.2. **Метод БЛИЖАЙШЕГО СОСЕДА** (процедура распределения клиентов по депо

Шаг 2.3. **Алгоритм ЗАМЕТАНИЯ** (процедура распределения клиентов по транспортным средствам)

Шаг 2.4. **Процедура поиска рациональных маршрутов P-АСО-EVRP** включает следующие шаги:

Шаг 2.4.1. **ПОИСК РАЦИОНАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ**

Шаг 2.4.2. **ВЫБОР УПАКОВКИ**

Шаг 2.4.3. **РАЗМЕЩЕНИЕ ЗАКАЗА**

Шаг 2.4.4. **ВЫЧИСЛЕНИЕ МАТРИЦЫ ПОПУЛЯЦИИ**

Шаг 2.5. **Улучшающая процедура 2_OPT_INTERCHANGE**

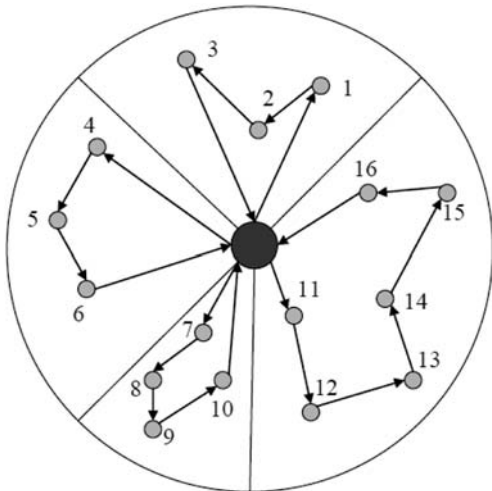
Более подробно процедура поиска рациональных маршрутов P-АСО-EVRP рассмотрена в работе [6].

Рассмотрим процедуры:

ВЫБОР_УПАКОВКИ,

РАЗМЕЩЕНИЕ_ЗАКАЗА,

ВЫЧИСЛЕНИЕ_МАТРИЦЫ_ПОПУЛЯЦИИ.



Алгоритм заметания для задачи маршрутизации

РАЗМЕЩЕНИЕ_ЗАКАЗА

Для выдачи карты размещения заказа в ТС применяется алгоритм, описанный в работе [7] (либо можно использовать, если необходимо, любую библиотеку с функцией размещения предметов внутри ТС).

ВЫБОР_УПАКОВКИ

Из упаковок с наибольшей потребительской оценкой находят упаковки наименьшей стоимости и максимальной заполненности заказом с помощью метода динамического программирования [9].

1. Если $z < vol_0 = vol_1$, то $f(z) = 0$ для всех таких z , иначе.

2. Если $z \in [vol_0, q_{ji}]$, то $f(z) = \min_{i \in I_z} \{-h_i - f(z - vol_i)\}$, $I_z = \{i | vol_i \leq z\}$.

3. Получение требуемого набора упаковки $num = (num_1, \dots, num_{|Item_{cyl}| + |Item_{par}|})$.

ВЫЧИСЛЕНИЕ_МАТРИЦЫ_ПОПУЛЯЦИИ

(вход: l, P

выход: обновленная матрица популяции P')

Если $|P| = l$, то удалить самое "худшее" решение $\tilde{\pi}$ из популяции:

$P' = P - \tilde{\pi}$.

Определить самое лучшее решение итерации π^* и добавить его в популяцию:

$P' = P + \pi^*$.

Вычислить новую матрицу феромона τ_{ij} из P [3].

Используется следующий критерий остановки: если $STOP = \text{const}$, где $STOP$ — число шагов, то считается, что критерий остановки выполнен.

Выбор очередного города или клиента проводится случайным образом на основе вероятностной формулы:

$$p_{ij}^l = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{z \in N^l} [\tau_{iz}(t)]^\alpha [\eta_{iz}]^\beta}, & \text{если } j \in N^l, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (16)$$

где N^l — множество вершин, которые агент l еще не посетил; $\eta_{ij} = 1/c_{ij}$ — эвристическая информация; величина $\tau_{ij}(t)$, где t — номер итерации, является уровнем феромона, который показывает "желательность" перехода в вершину j из вершины i , другими словами, желательность появления ребра (i, j) в решении; параметры α и β — параметры алгоритма, показывающие относительное влияние феромона и эвристической информации.

Заключение

В статье был изложен подход для решения задачи PHPD-EVRP доставки однородного заказа различным клиентам. При этом предложено вначале сформировать заказ, затем решать задачу маршрутизации для его доставки. Ядром решения этой задачи является модификация алгоритма муравьиной колонии, основанного на популяции, вклю-

чающая следующие подалгоритмы: Кини — Райфа, ближайшего соседа, заметания, позволяющих выбрать в дорожном графе только те дуги, которые удовлетворяют некоторым предпочтениям, например, качество дорог, плотность дорог (алгоритм Кини — Райфа); распределить всех клиентов по ближайшим к ним депо (метод ближайшего соседа); достаточно быстро построить начальное решение, предварительно распределив клиентов между депо (алгоритм заметания). Кроме того, разработанная модификация алгоритма муравьиной колонии, основанного на популяции, позволяет получать рациональные маршруты доставки однородного продукта (заказа) различным клиентам с одновременным учетом различных ограничений, таких как грузоподъемность транспортного средства (ТС), временные окна, период планирования, множество депо, раздельная доставка, неоднородный парк ТС, возможность возврата груза, а также позволяет учитывать рациональное размещение груза (заказа) в ТС во время построения рациональных маршрутов доставки.

1. **Angus D.** Population-Based Ant Colony Optimisation for Multi-objective Function Optimisation // *Proceedings ACAL*. 2007. P. 232—244.
2. **Langevin A., Riopel D.** *Logistics Systems: Design and Optimization*. New York: Springer, 2005. 388 p.
3. **Scheuermann B., So K., Guntsch M., Middendorf M., Dessel O., ElGindy H., Schmeck H.** FPGA implementation of population-based ant colony optimization // *Applied Soft Computing*, 2004. P. 303—322.
4. **Zhishuo L., Yueting C.** Sweep Based Multiple ant colonies algorithm for capacitated vehicle routing problem // *e-Business Engineering*, 2005. P. 387—394.
5. **Валеева А. Ф., Валеев Р. С., Тарасова Т. Д., Газизова Э. И.** О задаче доставки однородного продукта различным клиентам с учетом решения задач управления запасами, маршрутизации и складирования // *Логистика и управление цепями поставок*. 2015. № 2 (67). С. 55—69.
6. **Валеева А. Ф., Гончарова Ю. А., Кошечев И. С.** Разработка логистической транспортной системы для решения задачи доставки груза различным клиентам. Часть 1 // *Информационные технологии*. 2013. № 12. С. 127—134.
7. **Валеева А. Ф., Гончарова Ю. А., Кошечев И. С.** Разработка логистической транспортной системы для решения задачи доставки груза различным клиентам. Часть 2 // *Информационные технологии*. 2014. № 1. С. 9—14.
8. **Кини Р. Л., Райф Х.** Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.
9. **Юсупова Н. И., Валеева А. Ф., Рассадникова Е. Ю., Кошечев И. С., Латыпов И. М.** Многокритериальная задача доставки грузов различным потребителям // *Логистика и управление цепями поставок*. 2011. № 46. С. 60—81.

A. F. Valeeva, D. Sc., Professor, e-mail: aida_val2004@mail.ru; **Ju. A. Goncharova**, Postgraduate, **R. S. Valeev**, PhD., Associate Professor, Ufa State Aviation Technical University

An Approach for the Operational Planning Problems of Homogeneous Goods Delivery to Different Customers. Part 1

The operational planning problems solving of homogeneous goods delivery to different customers such as inventory management and looking for rational routes of goods delivery are considered in this article. The algorithm for searching the best inventory management strategy and a modified population based ant colony optimization algorithm (P-ACO) for getting the rational routes of homogeneous goods delivery to different customers are presented. At the same time a modified P-ACO algorithm takes into account different restrictions such as vehicle capacity, time windows, planning period, multiple depots, split delivery, heterogeneous fleet of vehicles, goods pickup and the rational goods packing at the time of rational routes construction. A considered modified P-ACO algorithm includes the following algorithms: Kini—Raif, nearest neighbor, sweep algorithm for selecting in the road graph only those arcs that satisfy some preferences (for example, the quality of roads, road tax) (Kini—Raif algorithm); for distribution all the customers to closest depot (nearest neighbor algorithm); for fast building of initial solution with pre-allocating customers among the depots (sweep algorithm).

Keywords: inventory management, routing, goods packing in vehicles, population based ant colony optimization algorithm

References

1. **Angus D.** Population-Based Ant Colony Optimisation for Multi-objective Function Optimisation, *Proceedings ACAL*, 2007, pp. 232—244.
2. **Langevin A., Riopel D.** *Logistics Systems: Design and Optimization*. New York: Springer, 2005. 388 p.
3. **Scheuermann B., So K., Guntsch M., Middendorf M., Dessel O., ElGindy H., Schmeck H.** FPGA implementation of population-based ant colony optimization, *Applied Soft Computing*, 2004, pp. 303—322.
4. **Zhishuo L., Yueting C.** Sweep Based Multiple ant colonies algorithm for capacitated vehicle routing problem, *e-Business Engineering*, 2005, pp. 387—394.
5. **Valeeva A. F., Valeev R. S., Tarasova T. D., Gazizova Je. I.** О задаче доставки однородного продукта различным клиентам с учетом решения задач управления запасами, маршрутизации и

складирования, *Логистика и управление цепями поставок*, 2015, no. 2 (67), pp. 55—69 (in Russian).

6. **Valeeva A. F., Goncharova Ju. A., Koshchev I. S.** Razrabotka logisticheskoy transportnoj sistemy dlja reshenija zadachi dostavki gruzha razlichnym klientam. *Chast' 1, Informacionnye tehnologii*, 2013, no. 12, pp. 127—134 (in Russian).

7. **Valeeva A. F., Goncharova Ju. A., Koshchev I. S.** Razrabotka logisticheskoy transportnoj sistemy dlja reshenija zadachi dostavki gruzha razlichnym klientam. *Chast' 2, Informacionnye tehnologii*, 2014, no. 1, pp. 9—14 (in Russian).

8. **Kini R. L., Rajf H.** *Prinjatje reshenij pri mnogih kriterijah: predpochtenija i zameshenija*, Moscow, Radio i svjaz', 1981, 560 p. (in Russian).

9. **Jusupova N. I., Valeeva A. F., Rassadnikova E. Ju., Koshchev I. S., Latoryov I. M.** Mnogokriterial'naja zadacha dostavki gruzov razlichnym potrebiteljam, *Logistika i upravlenie cepjami postavok*, 2011, no. 46, pp. 60—81 (in Russian).

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ DIGITAL PROCESSING OF SIGNALS AND IMAGES

УДК 004.93

С. С. Садыков, д-р техн. наук, проф, e-mail: sadykovss@yandex.ru,

Я. Ю. Кульков, ст. преп., e-mail: y_mail@mail.ru

Муромский институт Владимирского государственного университета, г. Муром

Распознавание отдельных тестовых и реальных плоских объектов по безразмерным признакам контуров их бинарных изображений

Цель работы — экспериментальное исследование возможности применения безразмерных признаков для распознавания объектов в системах машинного зрения. Входными являются тестовые бинарные и реальные полутоновые изображения объектов. На основе первичных коэффициентов формируется вектор признаков. Формируется набор эталонов для каждой группы изображений. С использованием среднего квадратичного отклонения вычисляется степень сходства вектора признаков неизвестного изображения и векторов признаков эталонов. Минимум указывает на принадлежность тестируемого изображения к одной из заданных групп.

Ключевые слова: машинное зрение, распознавание изображений, плоские детали, безразмерные признаки, центр тяжести, поворот изображения, контур изображения, обучение системы распознавания

Введение

Стремительное развитие наукоемких технологий, в том числе микроэлектроники, дало толчок к широкому использованию сложной вычислительной техники как на производстве, так и в других областях человеческой деятельности. Распространение микропроцессорных устройств привело к появлению новых средств автоматизации в промышленности, таких как системы автоматической упаковки, сортировки и контроля качества продукции [1–3].

Подобные системы предназначены для замены человека на работах, требующих выполнения однотипных, трудоемких и иногда вредных здоровью операций по сортировке, упаковке и контролю качества деталей и изделий.

Комплексы, осуществляющие автоматическую упаковку, сортировку и контроль качества деталей и изделий строят в основном на базе систем технического зрения (СТЗ), ядром которых являются алгоритмы распознавания путем обработки и анализа изображений этих деталей и изделий [1–7].

Различают комплексы автоматической сортировки и контроля качества плоских и трехмерных деталей и изделий [2].

В работах [2, 4, 5, 7] описаны разработанные алгоритмы и система распознавания отдельных, наложенных тестовых и реальных плоских деталей и изделий с использованием только одного признака

контуров их бинарных изображений — значения кривизны точек дискретного контура.

Применение единственного признака для распознавания плоских деталей и изделий создает значительные трудности при выборе эталонов и настройке видеодатчика, поскольку кривизна дискретной кривой не является инвариантной изменению масштаба объектов в поле зрения системы [8–14].

В данной статье предлагается алгоритм распознавания отдельных тестовых (ОТПО) и реальных (ОРПО) плоских объектов на основе безразмерных признаков контуров их бинарных изображений. Применяемые признаки инвариантны повороту, переносу и изменению масштаба объектов в поле зрения распознающей системы.

Алгоритм распознавания

Технология реализации предлагаемого алгоритма распознавания отдельных тестовых и реальных плоских объектов (деталей и изделий) состоит из двух этапов — обучения и экзамена.

Этап обучения

Данный этап включает в себя следующие шаги (рассмотрим на примере обработки, анализа и формирования эталонов изображений отдельных тестовых плоских объектов):

Шаг 1. В базу данных (БД) осуществляется загрузка R бинарных изображений ОТПО;

Шаг 2. Вычисляются центры тяжести всех R ОТПО по формулам

$$x_{\text{ц}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i; y_{\text{ц}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \quad (1)$$

где x_i, y_i — текущие координаты точек по X и Y , соответственно; m — число точек объекта; $x_i, y_i, x_{\text{ц}}, y_{\text{ц}}$ — целые числа; $i = 1, 2, \dots, m$.

Шаг 3. Путем поворота каждого из R ОТПО с шагом 1° формируется массив E повернутых его изображений. Всего $Q = R \cdot E$ повернутых изображений R ОТПО размещаются в БД. Поворот изображений осуществляется в соответствии со следующими формулами:

$$\begin{aligned} x_i &= (x - x_{\text{ц}})\cos\alpha - (y - y_{\text{ц}})\sin\alpha + x_{\text{ц}}; \\ y_i &= (y - y_{\text{ц}})\cos\alpha - (x - x_{\text{ц}})\sin\alpha + y_{\text{ц}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где x_i, y_i — новые координаты i -й точки объекта; x, y — исходные координаты i -й точки объекта; $x_{\text{ц}}, y_{\text{ц}}$ — координаты центра тяжести объекта; α — значение задаваемого угла поворота; $x, y, x_i, y_i, x_{\text{ц}}, y_{\text{ц}}$ — целые числа; $i = 1, \dots, m$ — число точек объекта.

Шаг 4. Для моделирования процесса случайного появления любого ОТПО в поле зрения системы распознавания из E повернутых изображений каждого из R ОТПО формируется массив по U изображений каждого R ОТПО. Выбор отдельного изображения из каждых E изображений R ОТПО в массив в U изображений осуществляется с помощью генератора случайных чисел (ГСЧ) с нормальным распределением. Массив $W = R \cdot U$ изображений R ОТПО размещается в БД.

Шаг 5. Определяются площади всех W изображений [2] — S_1, \dots, S_w .

Шаг 6. Строятся гистограммы использования каждого из E повернутых изображений каждого из R ОТПО при формировании W изображений. Всего R гистограмм.

Шаг 7. Осуществляется выделение одноточечных контуров всех W бинарных изображений R ОТПО и при этом для определения точек контура бинарного изображения используются следующие условия (3):

точка $G(i, j)$ считается контурной, если

$$\begin{aligned} G(i, j) &= 1, \text{ если } F(i, j) = 1 \text{ и } F(i+1, j) \cdot F(i, j+1) = 0; \\ G(i+1, j) &= 1, \text{ если } F(i+1, j) = 1 \text{ и } F(i, j) = 0; \\ G(i, j+1) &= 1, \text{ если } F(i, j+1) = 1 \text{ и } F(i, j) = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где $F(i, j)$ — точки входного бинарного изображения с координатами (i, j) ; $G(i, j)$ — точки контура с координатами (i, j) .

Шаг 8. Определяется число точек, образующих одноточечный контур каждого из W изображений R ОТПО — P_1, \dots, P_w .

Шаг 9. Определяется число внутренних точек каждого из W изображений R ОТПО — V_1, \dots, V_w :

$$V_i = S_i - P_i \quad (4)$$

где $i = 1, 2, \dots, w$.

Шаг 10. Используя способ, предложенный в работе [6], определяется метрическая длина $L_{\text{кон.}i}$ каждого из W контуров:

$$L_{\text{кон.}i} = 1 \cdot N_{4i} + \sqrt{2} N_{Di} \quad (5)$$

где N_{4i} — число четырехсвязных точек i -го контура; N_{Di} — число D -связных точек i -го контура; $i = 1, 2, \dots, w$.

Шаг 11. Вычисляется значение кривизны в каждой точке каждого из W контуров по алгоритму, приведенному в работе [4].

Шаг 12. На основе алгоритма в работе [4] определяются опорные точки выпуклых (M_1, M_3) и вогнутых (M_2, M_4) участков и их число в каждом из W контуров:

M_{1i} — число точек контура со значением $+90$;
 M_{2i} — число точек контура со значением -90 ;
 M_{3i} — число точек контура со значением $+135$;
 M_{4i} — число точек контура со значением -135 ,
 где $i = 1, 2, \dots, w$.

Шаг 13. Вычисляются общие длины выпуклых ($L_{\text{общ. вып.}}$), вогнутых ($L_{\text{общ. вог.}}$) и линейных ($L_{\text{общ. лин.}}$) участков каждого из W контуров [4]:

$$L_{\text{общ. вып.}i} = 1/2[M_{1i}2b + M_{3i}(a + b)]; \quad (6)$$

$$L_{\text{общ. вог.}i} = 1/2[M_{2i}2b + M_{4i}(a + b)]; \quad (7)$$

$$L_{\text{общ. лин.}i} = 1/2(K_i2a + T_i2b), \quad (8)$$

где $a = 1$ — расстояние между четырехсвязными точками контура; $b = \sqrt{2}$ — расстояние между D -связными точками контура; K_i — число четырехсвязных точек линейных участков контура; T_i — число D -связных точек линейных участков контура; $i = 1, \dots, w$.

Шаг 14. Формируется набор исходных признаков каждого из W изображений R ОТПО:

$$\{S, P, V, L_{\text{кон.}}, M_1, M_2, M_3, M_4, L_{\text{общ. вып.}}, L_{\text{общ. вог.}}, L_{\text{общ. лин.}}, T, K\}.$$

Шаг 15. Беря отношения одних исходных признаков к другим, формируются множества безразмерных признаков каждого из W ОТПО.

$$K_1 = P/S; \quad (9)$$

$$K_2 = M_1/S; \quad (10)$$

$$K_3 = M_2/S; \quad (11)$$

$$K_4 = M_3/S; \quad (12)$$

$$K_5 = M_4/S; \quad (13)$$

$$K_6 = K/S; \quad (14)$$

$$K_7 = T/S; \quad (15)$$

$$K_8 = M_1/P; \quad (16)$$

$$K_9 = M_2/P; \quad (17)$$

$$K_{10} = M_3/P; \quad (18)$$

$$K_{11} = M_4/P; \quad (19)$$

$$K_{12} = K/P; \quad (20)$$

$$K_{13} = T/P; \quad (21)$$

$$K_{14} = L_{\text{общ.лин}}/L_{\text{конт}}; \quad (22)$$

$$K_{15} = L_{\text{общ.вог}}/L_{\text{конт}}; \quad (23)$$

$$K_{16} = L_{\text{общ.вып}}/L_{\text{конт}}. \quad (24)$$

Вектор безразмерных признаков выглядит так:

$$\{K_1, K_2, K_3, \dots, K_{16}\}. \quad (25)$$

Шаг 16. В диалоговом режиме на основе гистограммы частоты использования E повернутых изображений каждого из R ОТПО при формировании массивов по W изображений случайного расположения ОТПО в поле зрения системы осуществляется выбор эталонов распознавания. В качестве 1-го эталона, например 1-го ОТПО, по гистограмме частоты использования выбирается вектор-признак наиболее часто применяемого варианта из E повернутых изображений. Проводится сравнение эталонного вектора-признака с векторами-признаками каждого из U изображений, которое заключается в вычислении СКО между векторами-признаками с использованием следующего выражения [2, 4]:

$$Z_{ij} = \frac{1}{n+1} \sum_{l=1}^n (K_{il} - K_{jl})^2, \quad (26)$$

где $l = 1, \dots, n$ — номер признака в векторе-признаке каждого объекта; $i = 1, 2, \dots, w$ — номер очередного выбранного по гистограмме в качестве эталона i -го вектора-признака (i -го объекта); K_{il} — значение l -го признака выбранного в данный момент i -го эталонного вектора-признака; K_{jl} — значение l -го признака сравниваемого в данный момент с эталоном j -го вектора-признака (j -го объекта); $j = 1, \dots, w$ — номера сравниваемых с эталонами вектора-объектов (j -номер объекта).

Вычисляются УСКО Z_{ij} . Среди них ищутся Z_{\min} :

$$Z_{\min} = \min\{Z_{ij}\}. \quad (27)$$

Найденные значения Z_{\min} указывают номера реализаций среди U изображений, векторы-признаки которых совпадают с вектором-признаком выбранной как эталон реализации. Очевидно, что с одним эталоном распознать все U реализации 1-го ОТПО невозможно.

Шаг 17. На основе гистограммы частоты использования E повернутых изображений выбирается

как эталон вектор-признак следующей реализации, часто использованной из E повернутых вариантов, например, 1-го ОТПО, при формировании U реализаций. Вычисляются U СКО Z_{ij} . Среди них ищутся Z_{\min} по формуле (27).

Найденные значения Z_{\min} указывают номера реализаций среди U изображений, векторы-признаки которых совпадают с вектором-признаком выбранной как эталон реализации и т.д.

Шаг 18. Выбор эталонов, т.е. выполнение шагов 16, 17, для реализаций 1-го ОТПО проводится до тех пор, пока не будут правильно распознаны все U реализаций.

Шаг 19. Выбранные эталоны 1-го ОТПО записываются в БД.

Шаг 20. Аналогично, т.е. выполнение шагов 16, 17, 18, 19, выбор эталонов проводится для всех реализаций всех остальных $R - 1$ ОТПО.

Шаг 21. Формируется таблица выбранных эталонов для всех R ОТПО.

Число эталонов, полученное при обучении по W изображениям R ОТПО, представлено в табл. 1.

При проведении эксперимента для реальных объектов также выполняются шаги 1—21. Число эталонов, полученное при обучении по W изображениям R ОРПО, представлено в табл. 2.

Таблица 1

Число эталонов для ОТПО

№ ОТПО	1	2	3	4	...	...	...	...	$R - 1$	R
Число эталонов	42	74	50	71					72	44

Таблица 2

Число эталонов для ОРПО

№ ОРПО	1	2	3	4	...	...	...	...	$R - 1$	R
Число эталонов	45	60	32	44					46	45

Следует отметить, что при обучении и распознавании ОРПО в технологический процесс после шага 1 добавляются процедуры фильтрации шумов (шаг 1а) и устранения фона (шаг 1б), а после шага 6 этапа обучения — бинаризация полутонового изображения (шаг 6а) [2, 4].

На этом этапе обучения системы распознаванию ОТПО и ОРПО по безразмерным признакам контуров их бинарных изображений завершается.

Экзамен обученной системы

Шаг 1. Случайным образом выбирается один из W изображений R ОТПО и подается на вход системы.

Шаг 2. Над выбранным изображением выполняются шаги 7—15 этапа обучения, формируется вектор-признак данного изображения.



Рис. 1. Тестовые изображения

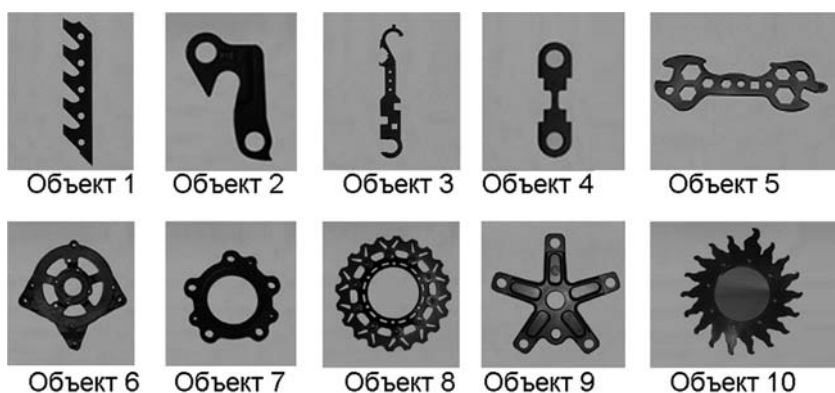


Рис. 2. Изображения реальных объектов

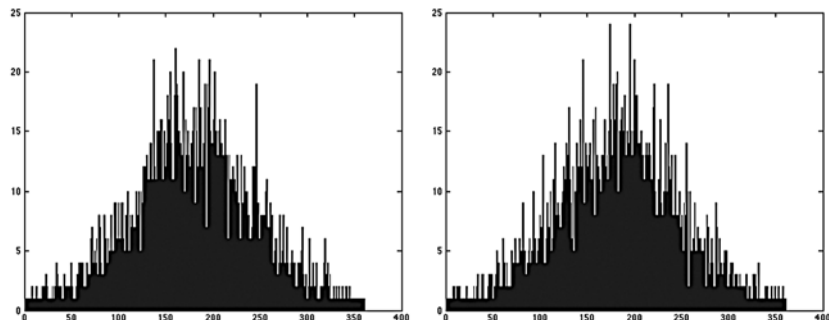


Рис. 3. Примеры гистограмм использования исходных $E_T = 360$ повернутых изображений при формировании массивов $U_T = 2000$ изображений $R_T = 10$ ОТПО

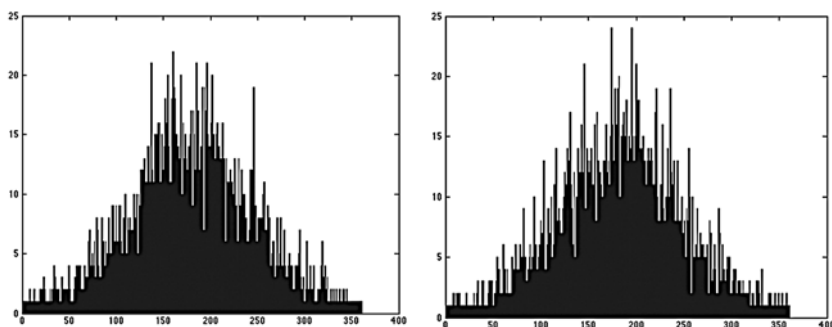


Рис. 4. Примеры гистограмм использования исходных $E_p = 360$ повернутых изображений при формировании массивов $U_p = 2000$ изображений $R_p = 10$ ОРПО

Шаг 3. Полученный вектор-признак входного неизвестного объекта с использованием формулы (26) сравнивается со всеми эталонными векторами-признаками R ОТПО, отобранными в процессе обучения.

Шаг 4. Определяется $\min\{Z_{ij}\}$, показывающий, какому из R ОТПО относится входной неизвестный объект.

Шаг 5. Шаги 1—4 этапа экзамена выполняются со всеми W изображениями объектов R ОТПО.

Шаг 6. Строятся таблицы и графики изменения ошибки и правильного распознавания входных объектов в зависимости от числа эталонов.

Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования проведены при следующих численных параметрах исходных и производных данных:

- размер кадра исходных изображений 512×512 точек;
- размер рабочего поля, куда размещаются генерированные реализации исходных изображений, 1024×1024 ;
- $R_T = R_p = 10$ (по 10 исходных изображений тестовых R_T и R_p реальных объектов);
- $E_T = E_p = 360$ — число повернутых с шагом 1° каждого из 10 исходных изображений каждого из тестовых E_T и реальных E_p объектов;
- $Q_T = Q_p = 3600$ — число повернутых с шагом 1° всех 10 исходных изображений тестовых Q_T и реальных Q_p объектов;
- $U_T = U_p = 2000$ — число случайно расположенных на рабочем поле повернутых изображений из массива E каждого из 10 исходных изображений тестовых U_T и реальных U_p объектов;
- $W_T = W_p = 20\,000$ — общее число случайно появляемых на рабочем поле изображений тестовых W_T и реальных W_p объектов.

Изображения исходных отдельных тестовых $R_T = 10$ и реальных $R_p = 10$ объектов приведены на рис. 1 и 2, соответственно.

На рис. 3 и 4 приведены примеры гистограмм использования повернутых изображений при формировании их $U_T = U_p = 2000$ реализаций каждого из $R_T = R_p = 10$ ОТПО и ОРПО.

В табл. 3 и 4 показаны изменения процента ошибки и правильного распознавания всех $W = 20\ 000$ $R = 10$ ОТПО и ОРПО в зависимости от числа эталонов, соответственно.

Представленные в табл. 3 и 4 данные приведены в графическом виде на рис. 5 и 6.

Зависимость максимальной вероятности ошибки от числа эталонов при распознавании всех ОТПО и ОРПО представлены на рис. 7 и 8.

Зависимость времени, затрачиваемого на распознавание объектов, от числа эталонов представлено на рис. 9 и 10.

Таблица 3

Результаты правильной идентификации всех W тестовых объектов при изменении числа эталонов от 10 до 74 на каждый объект при числе испытаний, равном 2000

№ объекта	Число эталонов							
	10		25		50		74	
	Число объектов	% распозн.	Число объектов	% распозн.	Число объектов	% распозн.	Число объектов	% распозн.
1	1440	72	1780	89,0	2000	100	2000	100
2	1096	54,8	1210	60,5	1650	82,5	2000	100
3	1073	53,6	1430	71,5	2000	100	2000	100
4	875	43,7	1022	51,1	1633	81,6	2000	100
5	1684	84,2	1920	96,0	2000	100	2000	100
6	1193	59,6	1628	81,4	2000	100	2000	100
7	1383	69,1	1873	93,7	2000	100	2000	100
8	1273	63,6	1664	83,2	1967	98,3	2000	100
9	699	34,9	928	46,4	1680	84	2000	100
10	1505	75,2	1727	86,4	2000	100	2000	100

Таблица 4

Результаты правильной идентификации всех W реальных объектов при изменении числа эталонов от 10 до 65 на каждый объект при числе испытаний, равном 2000

№ объекта	Число эталонов							
	10		25		40		65	
	Число объектов	% распозн.	Число объектов	% распозн.	Число объектов	% распозн.	Число объектов	% распозн.
1	1272	63,6	1706	85,3	1905	95,3	2000	100
2	807	40,4	1366	68,3	1845	92,3	2000	100
3	1458	72,9	1811	90,6	2000	100	2000	100
4	1225	61,3	1750	87,5	1911	95,6	2000	100
5	952	47,6	1096	54,8	1563	78,2	2000	100
6	1848	92,4	2000	100	2000	100	2000	100
7	1298	64,9	1526	76,3	1863	93,2	2000	100
8	1312	65,6	1566	78,3	1890	94,5	2000	100
9	1173	58,7	1464	73,2	1897	94,9	2000	100
10	1327	66,4	1673	83,7	1901	95,1	2000	100

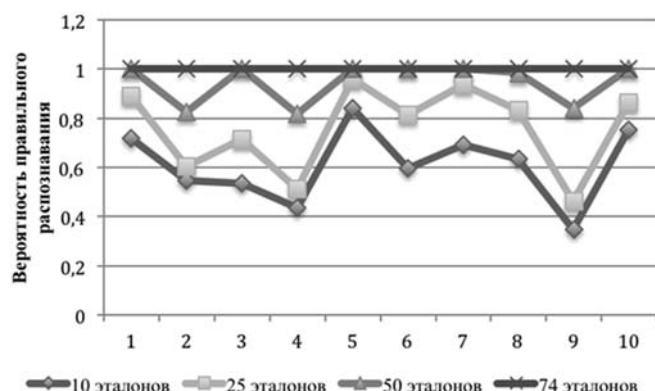


Рис. 5. График изменения вероятности правильного распознавания отдельных тестовых объектов при разном числе эталонов

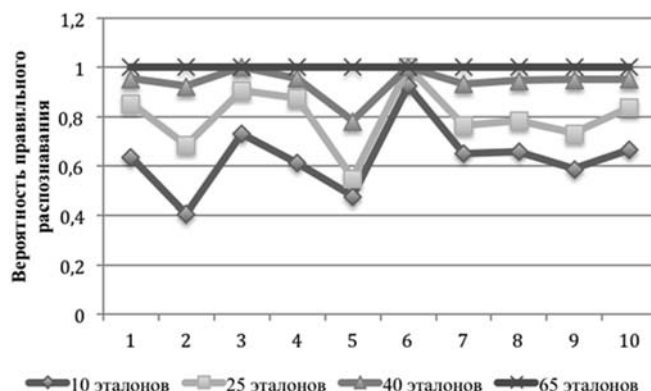


Рис. 6. График изменения вероятности правильного распознавания отдельных реальных объектов при разном числе эталонов

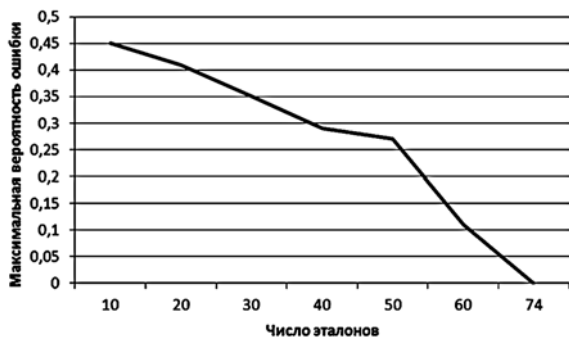


Рис. 7. График зависимости максимальной вероятности ошибки от числа эталонов для 2-го тестового объекта

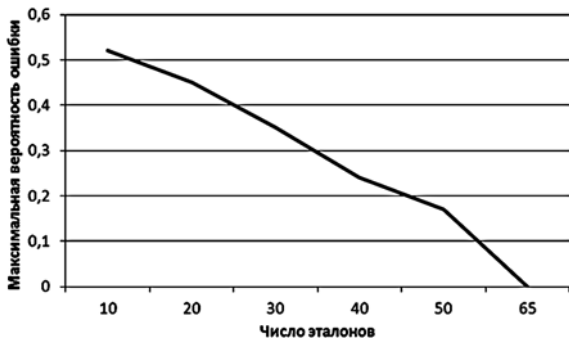


Рис. 8. График зависимости максимальной вероятности ошибки от числа эталонов для 5-го реального объекта

Заключение

Среди тестовых плоских объектов можно выделить объекты под № 2 и 9, имеющими достаточной простой контур. Но вследствие дискретного характера значений координат точек, составляющих изображение, при вращении меняется структура контура. При некоторых углах данных объекты имеют линейные участки контура большой длины. При других углах линейный характер контура изменяется, и при вычислении первичных коэффициентов получаем большое количество выпуклых участков с углом 135°. Вследствие этого вычисленные признаки различных повернутых экземпляров данного объекта существенно отличаются. А значит и полученные векторы признаков будут иметь отличия. На этапе обучения одним эталоном удается распознать меньшее число изображений. Это привело к необходимости использовать 74 эталона для объекта под номером 2 и 72 эталона для объекта 9 для достижения 100-процентного распознавания.

Те же рассуждения справедливы и для реального объекта под № 2. При вращении полутонового изображения получаем различное соотношение линейных, выпуклых и вогнутых участков контура.

Наименьшее число эталонов потребовалось для тестового объекта № 5 и реального полутонового объекта № 6. Это объясняется малой изменчивостью структуры контура различных повернутых реализаций объекта. Соответственно при изменении

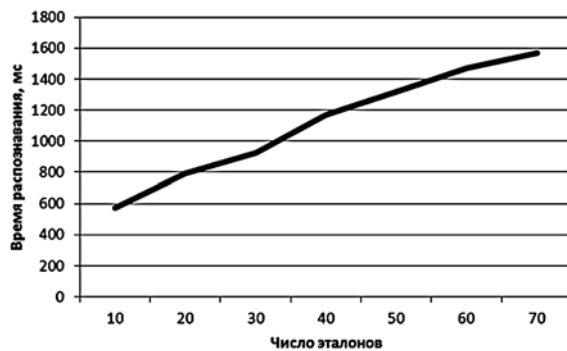


Рис. 9. График зависимости максимального времени распознавания одного тестового объекта от числа эталонов

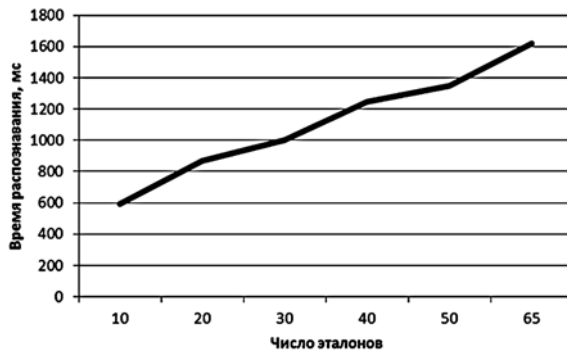


Рис. 10. График зависимости максимального времени распознавания одного реального объекта от числа эталонов

положения объекта в поле зрения камеры распознающей системы также потребуются минимальное число эталонов для распознавания данных объектов.

Реальные объекты под №№ 7—10 потребовали практически одинаковое число эталонов, от 45 до 47, для обеспечения 100-процентного распознавания всех своих реализаций. Данные объекты имеют похожую симметричную округлую форму.

Обученная система была протестирована на 20 000 сгенерированных изображений. Полученный набор эталонов позволил получить 100 % распознавания, что показывает высокую эффективность предложенных признаков.

В ходе проведения экспериментов вычислялось также время, требуемое для распознавания поступающего на вход тестовой системы изображения объекта. Используемое для проведения исследований программное обеспечение не подвергалось оптимизации, в результате чего полученное время является достаточно большим для применения в системах технического зрения. Основное время занимают алгоритмы выделения одноточечного контура и маркировки опорных точек. При практическом использовании данного алгоритма идентификации объектов необходимо провести оптимизацию данных функций в программе. Также в программе используются линейная фильтрация и алгоритм бинаризации Отсу. Данные алгоритмы широко применяются в различных задачах цифровой обработки

изображений и возможно использование готовых функций, оптимизированных для применения в системах реального времени.

Список литературы

1. Ермаков А. А., Орлов А. А., Садыков С. С., Стародубов Д. Н. Методы и алгоритмы обработки и анализа дефектоскопических и металлографических снимков. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2008. 112 с.
2. Садыков С. С., Савичева С. В. Распознавание отдельных и наложенных плоских объектов. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2012. 264 с.
3. Абламейко С. В., Лагуновский Д. М. Обработка изображений: технология, методы, применение. Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси. 1999. 300 с.
4. Садыков С. С., Савичева С. В. Идентификация реальных плоских объектов на основе единственного признака точек их внешних контуров // Информационные технологии. 2011. № 8. С. 13—16.
5. Садыков С. С., Савичева С. В. Распознавание плоских объектов при их наложении // Информационные технологии. 2013. № 2. С. 43—46.
6. Садыков С. С. Формирование безразмерных коэффициентов формы замкнутого дискретного контура // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2014. № 4 (29). С. 91—98.

7. Садыков С. С., Савичева С. В. Идентификация реальных плоских объектов на основе единственного признака точек их внешних контуров // Информационные технологии. 2011. № 8. С. 13—16.

8. Емельянов С. Г., Мирошниченко С. Ю., Панишев В. С. и др. Обработка цифровых аэрокосмических изображений для геоинформационных систем. Старый Оскол: ТНТ, 2011. 176 с.

9. Ильясова Н. Ю., Куприянов А. В., Храмов А. Г. Информационные технологии анализа изображений в задачах медицинской диагностики. М.: Радио и связь, 2012. 424 с.

10. Linde O., Lindeberg T. Composed complex-cue histograms: An investigation of the information content in receptive field based image descriptors for object recognition // Computer Vision and Image Understanding. 2012. P. 538—560.

11. Жизняков А. Л., Садыков С. С. Теоретические основы обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2008. 121 с.

12. Viola P., Jones M. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features // In Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. P. 158—167.

13. Гридин В. Н., Титов В. С. и др. Адаптивные системы технического зрения. М.: Центр информ. технологий в проектировании РАН. М.: Наука, 2009. 441 с.

14. Belongie S., Malik J., Puzicha J. Matching Shapes // Proc. Eighth Int'l. Conf. Computer Vision. 2002. P. 454—461.

S. S. Sadykov, D. Sc., Professor, Department "Information System", e-mail: sadykovs@yandex.ru,

Ya. Yu. Kulkov, Teacher in Department "SAPR", e-mail: y_mail@mail.ru

The Murom institute of Vladimir state university, Murom

Recognition of Separate Test and Real Flat Objects on Dimensionless Marks of Contours of their Bitmaps

The purpose of work is the pilot study of a possibility of application of dimensionless marks for recognition of objects in systems of machine sight. Test binary and real grayscale images of objects are entrance. On the basis of primary coefficients the vector of signs is formed. Are formed a set of etalons for each group of images. With use of a mean square deviation degree of similarity of a vector of marks of the unknown image and vectors of marks of standards is calculated. The minimum indicates belonging of the tested image to one of the set groups.

Keywords: machine sight, recognition of images, flat details, dimensionless signs, center of gravity, turn of the image, image contour, training of system of recognition

References

1. Ermakov A. A., Orlov A. A., Sadykov S. S., Starodubov D. N. *Metody i algoritmy obrabotki i analiza defektoskopicheskikh i metallograficheskikh snimkov* (Methods and algorithms of processing and analysis defectoscopic and metallographic pictures), Vladimir, Izd-vo VIGU, 2008, 112 p. (in Russian).
2. Sadykov S. S., Savicheva S. V. *Raspoznavanie otdel'nykh i nalozhennykh ploskikh ob'ektov* (Recognition of the separate and imposed flat objects), Vladimir, Izd-vo VIGU, 2012, 264 p. (in Russian).
3. Ablamejko S. V., Lagunovskij D. M. *Obrabotka izobrazhenij: tehnologija, metody, primenenie* (Processing of images: technology, methods, application), Minsk, In-t tehn. kibernetiki NAN Belarusi, 1999, 300 p. (in Russian).
4. Sadykov S. S., Savicheva S. V. Identifikacija real'nyh ploskikh ob'ektov na osnove edinstvennogo priznaka toček ih vneshnih konturov, *Informacionnye tehnologii*, 2011, no. 8, pp. 13—16 (in Russian).
5. Sadykov S. S., Savicheva S. V. Raspoznavanie ploskikh ob'ektov pri ih nalozhenii, *Informacionnye tehnologii*, 2013, no. 2, pp. 43—46 (in Russian).
6. Sadykov S. S. Formirovanie bezrazmernykh koeficientov formy zamknutogo diskretno-go kontura, *Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannyh*, 2014, no. 4 (29), pp. 91—98 (in Russian).
7. Sadykov S. S., Savicheva S. V., Identifikacija real'nyh ploskikh ob'ektov na osnove edinstvennogo priznaka toček ih vneshnih konturov, *Informacionnye tehnologii*, 2011, no. 8, pp. 13—16 (in Russian).

8. Emel'janov S. G., Miroshnichenko S. Ju., Panishhev V. S. i dr. *Obrabotka cifrovych azerokosmicheskikh izobrazhenij dlja geoinformacionnyh sistem* (Processing of digital space images for geographic information systems), Staryj Oskol: TNT, 2011, 176 p. (in Russian).

9. Il'jasova N. Ju., Kuprijanov A. V., Harmov A. G., *Informacionnye tehnologii analiza izobrazhenij v zadachah medicinskoj diagnostiki* (Information technologies of the analysis of images in problems of medical diagnostics), Moscow, Radio i svjaz', 2012, 424 p. (in Russian).

10. Linde O., Lindeberg T. Composed complex-cue histograms: An investigation of the information content in receptive field based image descriptors for object recognition, *Computer Vision and Image Understanding*, 2012, pp. 538—560 (in English).

11. Zhiznjakov A. L., Sadykov S. S. *Teoreticheskie osnovy obrabotki mnogomasshtabnyh posledovatel'nostej cifrovych izobrazhenij* (Theoretical bases of processing of multilarge-scale sequences of digital images), Vladimir, Izd-vo VIGU, 2008, 121 p. (in Russian).

12. Viola P., Jones M., Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple features, *In Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001, pp. 158—167 (in English).

13. Gridin V. N., Titov V. S. i dr. *Adaptivnyye sistemy tehničeskogo zrenija* (Adaptive systems of technical sight). Centr inform. tehnologij v proektirovanii RAN, Moscow, Nauka, 2009, 441 p. (in Russian).

14. Belongie S., Malik J., Puzicha J., Matching Shapes, *Proc. Eighth Int'l. Conf. Computer Vision*, pp. 454—461 (in English).

Р. К. Мамедов, д-р техн. наук, проф., e-mail: rahim1951@mail.ru,
Т. Ч. Алиев, канд. техн. наук, ассистент, e-mail: alievtima18@rambler.ru,
А. С. Муталлимова, ассистент, e-mail: ayzberg69@mail.ru

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г. Баку

Распознавание бинарных изображений объектов, подвергнутых аффинным преобразованиям

Рассматривается способ распознавания бинарных изображений объектов, подвергнутых аффинным преобразованиям, базирующийся на зависимости изменения моментов инерции от изменения размера и поворота изображения объекта. Приведены результаты компьютерного моделирования, подтверждающие эффективность предложенного способа.

Ключевые слова: распознавание объектов, бинарные изображения, аффинные преобразования, моменты инерции

Введение

В настоящее время среди информационно-измерительных систем стал выделяться класс систем распознавания образов, позволяющих проводить идентификацию и прогнозирование состояний окружающей среды и объекта измерения [1]. Обычно в качестве таких систем активно используются системы автоматической обработки изображений объектов и распознавания зрительных образов, формируемых в оптическом, радио- и инфракрасном диапазонах, имеющие по сравнению с другими такие преимущества, как большая дальность действия и проникновение через среду (лед, вода, облачность) [2].

В большинстве случаев практически значимые результаты могут быть получены по бинарным изображениям, формируемым по исходным многоградационным изображениям. При этом значительно упрощается процесс принятия решения и сокращается объем обрабатываемой информации [2].

Методы распознавания образов и, в частности, изображений объектов можно разделить на два основных класса: распознавание, основанное на операциях с признаками (в основном геометрическими), и распознавание, основанное на операциях с объектами (сравнение изображения сцены с эталоном) [1]. Предлагаемый в статье способ относится ко второму классу методов распознавания.

Постановка задачи исследования

Большинство изображений, подлежащих распознаванию, подвергаются аффинным преобразованиям¹ [3], что затрудняет процесс идентификации, так как для методов первого класса происходит искажение признаков, а для методов второго

¹ Здесь под аффинным преобразованием понимается неравномерное изменение масштаба и поворот распознаваемого изображения в плоскости проекции.

класса число операций сравнения увеличивается во много раз. Это вызывает необходимость применения сложных многоэтапных методов цифровой обработки изображений и параллельных многопроцессорных вычислительных устройств.

Однако специфика многих задач требует проводить обработку изображений в реальном масштабе времени, а большинство систем распознавания изображений имеют программные и аппаратные средства средней производительности. Кроме того, существующие способы ориентированы на идентификацию изображений объектов, подвергнутых только одному типу аффинных преобразований (изменение масштаба, поворот в плоскости изображений, сдвиг в плоскости изображения т.д.). Вследствие этого эффективность существующих способов недостаточно высока.

Таким образом, можно сказать, что задача распознавания изображений до сих пор не решена в полном объеме, а разработка способа идентификации широкого круга искаженных изображений объектов остается актуальной с точки зрения теории и практики.

Метод решения задачи

Предлагаемый способ основывается на предположении, что сегментация изображения объекта проведена и получены бинарные изображения его сторон, а само распознаваемое изображение представляет замкнутую одноконтурную или многоконтурную фигуру. В качестве аффинного преобразования в статье рассматривается поворот изображения стороны объекта вокруг оси ординат или аппликата [4] с поворотом вокруг оси абсцисс, проходящей через центр изображения объекта, и изменением масштаба относительно центра.

В работе [5] получены уравнения, показывающие соответствующие рассматриваемому аффинному преобразованию зависимости изменения моментов инерции изображения при изменении его раз-

мера относительно центра вдоль оси ординат в M раз и вдоль оси аппликат в N раз с поворотом данных осей изображения вокруг оси абсцисс на угол φ :

$$J_{U2} = J_{Y1}M^2N^4\cos^2\varphi + J_{Z1}M^4N^2\sin^2\varphi - J_{YZ1}M^3N^3\sin 2\varphi; \quad (1)$$

$$J_{V2} = J_{Y1}M^2N^4\sin^2\varphi + J_{Z1}M^4N^2\cos^2\varphi + J_{YZ1}M^3N^3\sin 2\varphi; \quad (2)$$

$$J_{UV2} = J_{YZ1}M^3N^3\cos 2\varphi + \frac{J_{Y1}M^2N^4 - J_{Z1}M^4N^2}{2} \sin 2\varphi, \quad (3)$$

где φ — угол поворота осей ординат и аппликат вокруг оси абсцисс; J_{Y1} , J_{Z1} , J_{YZ1} — соответственно

моменты инерции изображения объекта относительно исходных осей ординат и аппликат, а также центробежный момент инерции относительно данных осей; J_{U2} , J_{V2} , J_{UV2} — соответственно момент инерции измененного в размерах изображения объекта относительно повернутых осей ординат и аппликат на угол φ , а также центробежный момент инерции относительно данных осей.

Приняв J_{Y1} , J_{Z1} , J_{YZ1} за моменты инерции эталонного изображения объекта, а J_{U2} , J_{V2} , J_{UV2} — за моменты инерции распознаваемого изображения объекта, можно провести идентификацию, для чего тригонометрические уравнения (1) и (3) приводим к однородным и решаем относительно φ . В результате получаем:

$$\varphi_1 = \arctg \left(\frac{-J_{YZ1}M^3N^3 \pm ((J_{YZ1}^2 - J_{Z1}J_{Y1})M^6N^6 - (J_{U2}^2 + J_{U2}J_{Y1}M^2N^4 + J_{U2}J_{Z1}M^4N^2))^{1/2}}{J_{U2} - J_{Z1}M^4N^2} \right) - \pi k, \quad (4)$$

$$\varphi_2 = \arctg \left(\frac{-(J_{Z1}M^4N^2 - J_{Y1}M^2N^4) \pm (J_{Z1}^2M^8N^4 + (4J_{YZ1}^2 - 2J_{Z1}J_{Y1})M^6N^6 + J_{Y1}^2M^4N^8 - 4J_{UV2}^2)^{1/2}}{2(J_{UV2} + J_{YZ1}M^3N^3)} \right) - \pi k, \quad (5)$$

где $k = 0, 1$.

При сложении уравнений (1) и (2) получаем:

$$M = \left(\frac{-N^3J_{Y1} + \sqrt{N^6J_{Y1}^2 + 4J_{Z1}J_{U2} + 4J_{Z1}J_{V2}}}{2NJ_{Z1}} \right)^{1/2}. \quad (6)$$

Подставляя формулу (6) в уравнения (4), (5), получаем два выражения зависимости изменения φ от изменения N :

$$\varphi_1 = f_1(J_{Y1}, J_{Z1}, J_{YZ1}, J_{U2}, J_{V2}, J_{UV2}, N),$$

$$\varphi_2 = f_2(J_{Y1}, J_{Z1}, J_{YZ1}, J_{U2}, J_{V2}, J_{UV2}, N).$$

Подставляя вычисленные числовые значения моментов инерции для идентифицируемого и эталонного изображений J_{X1} , J_{Y1} , J_{XY1} , J_{U2} , J_{V2} , J_{UV2} и задавая переменной N значения в пределах $(0t)$, где t — достаточно большое число, строятся графики данных уравнений. Рассматривая графики как независимые изображения кривых, можно определить точки их пересечения, координаты которых будут значениями корней. Подставляя полученные значения N в уравнение (6), получаем значения переменной M .

Таким образом, получаем набор корней φ , N , M системы уравнений (1)–(3).

В зависимости от частоты дискретизации переменной N и интерполяционной функции координаты точек пересечения, а следовательно, и величина M , будут иметь приближенное значение. Чтобы уточ-

нить значение корней системы уравнений (1)–(3), можно применить итерационный метод Ньютона [4].

Процесс распознавания изображения объекта будет осуществляться путем разворота идентифицируемого изображения на углы φ , корректировки размеров по величинам M и N и непосредственного сличения полученного изображения с эталоном, т.е. после предварительных вычислений перебор всевозможных положений ограничивается несколькими положениями. Если идентифицируемое изображение соответствует эталону, то после преобразований оно будет совпадать с эталоном. При этом полного совпадения не будет из-за наличия у преобразованного изображения искажения от дискретизации, проявляющегося на его контуре в виде изменения значений отдельных пикселей. В качестве численной оценки сходства эталона и распознаваемого изображения можно воспользоваться мерой близости:

$$Z = \sum_{i=1}^m |A(x, y)_i - B(x, y)_i| \leq \varepsilon = 2P_3, \quad (7)$$

где $A(x, y)_i$ и $B(x, y)_i$ — соответственно значения точек, принадлежащих эталону и распознаваемому изображению; x, y — координаты пикселя на изображении; i — число пикселей в изображении; ε — значение доверительного порога, зависящего от размеров изображений и вычислительной погрешности анализа; P_3 — периметр эталона.

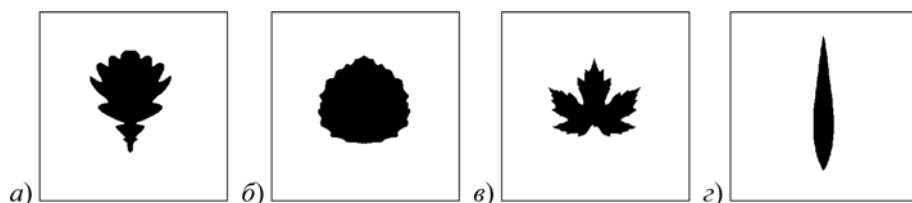


Рис. 1. Эталонные бинарные изображения объектов

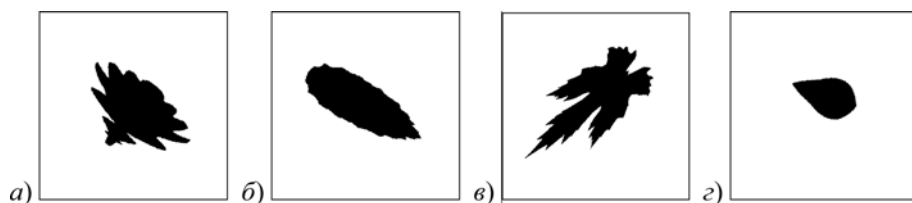


Рис. 2. Распознаваемые бинарные изображения объектов

Данная мера показывает расхождение изображений, т.е. число несовпадающих пикселей при непосредственном сличении.

Если для одного из положений идентифицируемого изображения указанное условие будет выполняться, то делается вывод о том, что оно является аналогом эталона.

Компьютерное моделирование

В целях подтверждения полученных теоретических результатов проведено компьютерное моделирование предложенного способа распознавания.

Эксперименты проводились на четырех изображениях, представляющих собой упрощенные силуэты листьев деревьев: дуба, осины, клена и ивы. Данные изображения приняты в качестве эталонов. Для получения распознаваемых изображений

с помощью программы Photo-Shop эталонные изображения были изменены в разных масштабах по горизонтальной и вертикальной осям, а также повернуты в плоскости изображения.

На рис. 1 и 2 представлены соответственно эталонные и распознаваемые изображения после их бинаризации.

Вычисленные значения периметров эталонных изображений сведены в табл. 1.

В табл. 2 сведены вычисленные по формуле (7) минимальные значения величины Z для каждого распознаваемого изображения.

При распознавании эталонных изображений дуба с кленом, а также клена и ивы с дубом, корней у системы уравнений (1)–(3) найдено не было.

Заключение

Как видно из табл. 2, только у соответствующего эталону идентифицируемого изображения наименьшее расхождение находится в пределах допустимого порога. Для остальных изображений оно значительно превышает допустимый порог или пересечения графиков не происходит.

Таким образом, используя рассмотренный в статье способ распознавания бинарных изображений объектов, подвергнутых аффинным преобразованиям (закрывающимся в неравномерном изменении масштаба и повороте изображения в плоскости проекции), можно выполнить процесс идентификации изображений по эталону, сохранив при этом достаточную достоверность.

Список литературы

1. Луценко Е. В. Интеллектуальные информационные системы: Учеб. пособие для студентов. Краснодар: КубГАУ, 2004. 633 с.
2. Фурман Я. А., Юрьев А. Н., Яшин В. В. Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений. Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. 248 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2006. 1072 с.
4. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1986. 544 с.
5. Мамедов Р. К., Муталлимова А. С., Алиев Т. Ч. Использование моментов инерции изображения для инвариантного к аффинным преобразованиям распознавания // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. № 4/3 (58). С. 4–7.

Таблица 1

Периметры эталонных изображений

Эталонные изображения	Дуб	Осина	Клен	Ива
Периметр, пиксели	766	588	913	575

Таблица 2

Наименьшие расхождения (в пикселях) между эталонными и распознаваемыми изображениями

Эталонные изображения	Распознаваемые изображения			
	Дуб	Осина	Клен	Ива
Дуб	611	4010	—	3482
Осина	5336	363	9669	3204
Клен	—	5604	410	5686
Ива	—	1533	2712	327

R. G. Mammadov, PhD of technical sciences, Professor, e-mail: rahim1951@mail.ru,
T. Ch. Aliyev, PhD of technical sciences, Assistant, e-mail: alievtima18@rambler.ru,
A. S. Mutallimova, Assistant, e-mail: ayzberg69@mail.ru,
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku

Recognition of Binary Images of the Objects Suffered to Affine Transformations

Application of pattern recognition and, in particular, a system of automatic processing of images of objects, allows for identification and prediction of environment condition and the object of study. To reduce the amount of information processed, detection is convenient to conduct recognition of binary images. The most of images to be recognized comprise complex of affine transformations. This reduces the efficiency of identification due to distortion of indications. Also, the number of comparisons is increased significantly.

As an affine transformation we consider rotation of an image of side of the object around two axis passing through the center of the object image, with a change of scale to the center.

Research is performed on the basis of the system of three equations obtained by the authors which show the dependence of variation of the moments of inertia of the image when it is resized to the center along Y-axis of M times and N times along the Z-axis with the rotation of the axes of the image around the X-axis by the angle φ .

By solving this system of equations on the basis of semigraphical method the values of M , N and φ . Then turn identified carried image on the corners with the adjustment of the size of the values of M and N , as well as a direct comparison of the image obtained with the standard. Thus, after the preliminary calculations of various provisions of the bust recognizable image is limited to several provisions. If identifiable image corresponds to the standard, after conversion it will be the same as the standard.

In order to confirm the theoretical results of the computer modeling of the proposed method of detection. Experiments were carried out on four images are simplified silhouettes of leaves of trees: oak, aspen, maple and willow. The simulation results showed that only the appropriate reference image identified by the smallest discrepancy is within a certain allowable threshold differences. For other images, it is much higher.

Thus, using the proposed method of pattern recognition, the identification process can be performed on the model, while retaining sufficient reliability.

Keywords: object recognition, binary image, affine transformation, moments of inertia

References

1. **Lucenko E. V.** *Intellektual'nye informacionnye sistemy: Uchebnoe posobie dlja studentov.* Krasnodar: KubGAU, 2004. 633 p. (E. V. Lutsenko Intelligent Information Systems: A manual for students / Krasnodar: Kuban State Agrarian University, 2004. 633 p.)
2. **Furman Ja. A., Jur'ev A. N., Jashin V. V.** *Cifrovye metody obrabotki i raspoznavanija binarnyh izobrazhenij,* Krasnojarsk: Izd-vo Krasnojarsk. un-ta, 1992. 248 p. (Y. A. Furman, A. N. Yuryev, V. V. Yashin. Digital methods of processing and recognition of the binary images, Krasnojarsk: Publishing House of Krasnojarsk. University Press, 1992. 248 p.)
3. **Gonzales R., Vuds R.** *Cifrovaja obrabotka izobrazhenij,* Moscow: Tehnosfera, 2006. 1072 p. (R. Gonzalez, R. Woods. Digital Image Processing. M.: Technosphere, 2006. 1072 p.)
4. **Bronshtejn I. N., Semendjaev K. A.** *Spravochnik po matematike dlja inzhenerov i uchashhihsja vtuzov,* Moscow: Nauka, 1986. 544 p. (I. N. Bronshtein, K. A. Semendyaev. Handbook of mathematics for engineers and students of technical colleges. M.: Science, 1986. 544 p.)
5. **Mamedov R. K., Mutallimova A. S., Aliev T.Ch.** *Ispol'zovanie momentov inercii izobrazhenija dlja invariantnogo k affinnym preobrazovanijam raspoznavanija,* *Vostochno-Evropskij zhurnal periodovyh tehnologij,* 2012, no. 4/3 (58), pp. 4–7. (R. G. Mammadov, A. S. Mutallimov, T. Ch. Aliyev. Using the moments of inertia of image invariant to affine transformations recognition *Eastern European journal of advanced technologies,* 2012, no. 4/3 (58). pp. 4–7.)

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ CAD-SYSTEMS

УДК 004.31

А. Д. Иванников, д-р техн. наук, e-mail: 9287743@gmail.com; зам. директора по научной работе, Институт проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук

Анализ методов декомпозиции задачи отладки проектов цифровых систем

В связи со сложностью и большой размерностью задачи отладки сложных цифровых систем методом моделирования в целом предлагаются алгебраические модели методов декомпозиции этой задачи, а именно: вертикальной и горизонтальной структурной декомпозиции, функциональной декомпозиции, декомпозиции по типам ошибок. Приводится алгебраическая модель программного обеспечения цифровых систем. Программное обеспечение представляется как полугруппа операторов.

Ключевые слова: модель сложных цифровых систем, отладка методом моделирования на ЭВМ, проектирование систем на кристалле, логическое моделирование, логико-временной анализ, алгебраические модели, модель программного обеспечения, программа как полугруппа операторов

Введение

В настоящее время проектирование сложных цифровых схем и микросистем на кристалле возможно только с использованием средств автоматизации проектирования. Причем обычно сжатые сроки проектирования делают необходимым широкое использование уже спроектированных ранее блоков.

Спроектированная сложная цифровая схема или микросистема (далее — цифровая система) задается в виде принципиальной электрической схемы Sx технических средств и текста программного обеспечения $П$, т. е. в виде пары $(Sx, П)$.

Основой отладки цифровых систем является отладочный эксперимент, в котором на входы объекта отладки (компьютерной модели цифровой системы) подается отладочный тест, определяется выходное воздействие и, возможно, какие-то внутренние переменные, в зависимости от времени. Если выходное воздействие не соответствует требуемому, осуществляются локализация ошибки и ее исправление.

Сравнительно малое число выводов и высокая сложность технических средств и программного обеспечения реальных цифровых систем не дают возможности локализовать ошибку исходя лишь из наблюдения выходных воздействий цифровой системы. В целях получения более полной информации о работе отлаживаемой системы разработчик анализирует изменения содержимого ячеек запоминающего устройства (ЗУ) и регистров блоков, а также логических сигналов на выходах блоков, из которых состоит цифровая система, если модель

цифровой системы, используемая в качестве объекта отладки, это позволяет. Однако и при этом условия высокая сложность современных цифровых схем, большое число возможных источников ошибок затрудняют локализацию последних в связи с высокой размерностью задачи. Эффективным средством в этом случае является декомпозиция задачи отладки на ряд задач отладки меньшей размерности. Целью данной работы являются алгебраическая формулировка принципов декомпозиции задачи отладки современных цифровых схем методом моделирования, а также разработка алгебраической модели программного обеспечения цифровых систем.

Возможные методы декомпозиции задачи отладки методом моделирования

Структурная вертикальная декомпозиция. Цифровая система может быть представлена как вертикальная иерархическая композиция из нескольких компонентов различных уровней. Таких уровней, как минимум, два:

- технические средства, определяющие архитектуру или микроархитектуру цифровой системы и являющиеся интерпретатором последовательности команд или микрокоманд;
- программное или микропрограммное обеспечение, которое в комплексе с техническими средствами определяет переработку (является интерпретатором) последовательностей входных сигналов в выходные.

Цифровая система в ряде случаев содержит большее число уровней. Достаточно часто циф-

ровая система строится из отлаженных ранее блоков, которые в свою очередь представляют собой схемы соединения блоков более низкого уровня. Также в ряде цифровых систем можно выделить уровень технических средств, определяющих микроархитектуру системы (систему микрокоманд), уровень микропрограмм, определяющих архитектуру системы (систему команд, методы адресации, дисциплину обслуживания прерываний) и уровень программного обеспечения. Программное обеспечение может быть в ряде случаев представлено как имеющее два и более уровней.

Цифровая система в процессе работы выполняет некоторую последовательность функций из конечного алфавита \mathbf{K} , свойственного конкретной системе. Каждую такую последовательность $f \in \mathbf{F}$ будем считать программной, выполняемой (интерпретируемой) цифровой системой. "Командами" таких программ являются отрезки входных взаимодействий, вызывающих выполнение той или иной операции из алфавита \mathbf{K} . Входными взаимодействиями мы называем временные диаграммы входных сигналов и выходных сигналов управления обменом, т. е. выходных сигналов квитирования и инициации ввода информации [1].

Цифровую систему в целом необходимо рассматривать совместно с множеством \mathbf{F} выполняемых последовательностей функций.

Цифровая система может быть представлена как

$$(\mathbf{L}_1, \mathbf{L}_2, \dots, \mathbf{L}_n, \mathbf{F}_n), \quad (1)$$

где \mathbf{L}_1 — схема технических средств; $\mathbf{L}_2, \dots, \mathbf{L}_n$ — программы или микропрограммы i -го уровня, представляющие собой определенные последовательности команд этого уровня; n — число уровней, имеющих в системе; \mathbf{F}_n — множество программ, выполняемых цифровой системой в целом.

Кортеж $(\mathbf{L}_1, \dots, \mathbf{L}_i)$ задает правила интерпретации команд i -го уровня, т. е. виртуальную машину этого уровня с системой команд \mathbf{K}_i .

Отладка цифровой системы в целом представляет собой выбор из множества \mathbf{F}_n конечного множества конечных по времени отладочных тестов $\text{TST}_n \subset \mathbf{F}_n$, выполнения TST_n с помощью интерпретатора $(\mathbf{L}_1, \mathbf{L}_2, \dots, \mathbf{L}_n)$, определение правильности или ошибочности интерпретации, в случае наличия ошибки — ее идентификацию и исправление.

В соответствии с принципом структурной вертикальной декомпозиции задачу отладки цифровой системы $(\mathbf{L}_1, \mathbf{L}_2, \dots, \mathbf{L}_n, \mathbf{F}_n)$ можно заменить отладкой виртуальной машины первого уровня, т. е. отладкой интерпретатора (\mathbf{L}_1) на наборе отладочных тестов TST_1 ; отладкой виртуальной машины второго уровня, т. е. отладкой интерпретатора $(\mathbf{L}_1, \mathbf{L}_2)$ на наборе отладочных тестов TST_2 и т. д., заканчивая отладкой машины n -го уровня (цифровой системы в целом), т. е. отладкой интерпретатора $(\mathbf{L}_1, \mathbf{L}_2, \dots, \mathbf{L}_n)$ на наборе отладочных тестов

$\text{TST}_n \subset \mathbf{F}_n$. Такая декомпозиция существенно снижает размерность задачи отладки в связи с меньшим числом возможных ошибок и их типов в каждом уровне \mathbf{L}_i по сравнению с цифровой системой в целом.

При этом для каждого уровня необходимо:

- иметь возможность выделить множество допустимых программ \mathbf{F}_i для виртуальной машины i -го уровня;
- построить набор отладочных тестов $\text{TST}_i \subset \mathbf{F}_i$;
- знать множество допустимых реакций для всех возможных программ i -го уровня или, по крайней мере, для всех отладочных тестов TST_i ;
- иметь машинную модель интерпретатора i -го уровня (модель технических средств, модели цифровой системы на уровнях микроархитектуры, архитектуры, базовых макрокоманд, из которых формируется общий алгоритм работы системы) с возможностью слежения за внутренними переменными модели этого уровня.

В качестве такой модели всегда может быть использован интерпретатор первого уровня (\mathbf{L}_1) , т. е. модель технических средств, в сочетании с программами $(\mathbf{L}_2, \dots, \mathbf{L}_i)$. Однако такие модели требуют больших затрат машинного времени в связи с моделированием внутренних переменных всех уровней. В этих случаях более экономично в смысле затрат времени инструментальной ЭВМ использовать специально созданные и отлаженные эмуляторы i -го уровня, моделирующие внутренние переменные только этого уровня. Например, для отладки программного обеспечения могут быть использованы функционально-логические модели системы на уровне соединения типовых блоков. Но во многих случаях для отладки программ информация о логических сигналах на выводах блоков не является необходимой. Тогда целесообразно использование эмуляторов цифровых систем на уровне архитектуры (системы команд), позволяющих следить только за изменениями содержимого программно-доступных регистров блоков и ячеек ЗУ.

Структурная горизонтальная декомпозиция. Во многих случаях определенный уровень \mathbf{L}_i цифровой системы можно представить как некоторое множество связанных между собой блоков. Возможны случаи, когда такие блоки функционируют одновременно (процессорные блоки в мультипроцессорной системе; блоки каналов ввода-вывода и другие специализированные периферийные блоки, функционирующие параллельно с выполнением основной программы) или в определенной очередности (блоки ЗУ, ввода-вывода, подключенные к общей шине; процессорный блок и блок контроллера прямого доступа к памяти).

На микропрограммном уровне могут быть выделены микропрограммы, реализующие отдельные команды, микропрограмма обслуживания пульта, микропрограмма, реализующая дисциплину обслужи-

живания прерываний. В программном обеспечении цифровых систем реального времени могут быть выделены фрагменты, запускаемые при поступлении сигнала прерывания с заданным приоритетом.

Разбиение уровня L_i на блоки обычно осуществляется таким образом, чтобы их интерфейс был наиболее простым и легко описываемым.

Итак, каждый иерархический уровень L_i цифровой системы может быть представлен как

$$L_i = \begin{pmatrix} u_i^1 \\ u_i^2 \\ \dots \\ u_i^j \end{pmatrix},$$

где u_i^j — блок, выделенный в уровне L_i ; j — число блоков, на которые разбит уровень L_i .

В соответствии с принципом структурной горизонтальной декомпозиции отладка L_i может быть заменена автономной отладкой блоков $u_i^1, u_i^2, \dots, u_i^j$ и отладкой их взаимодействия. Так, в случае уровня технических средств возможна отдельная отладка блоков ОЗУ, ПЗУ, блока микропрограммного управления и отладка обмена информацией между блоками по общей шине. В случае микропрограммного обеспечения — отдельная отладка микропрограмм, реализующих каждую команду.

Функциональная декомпозиция. Цифровая система обычно реализует конечный набор функций, например, контроль температуры объекта, индикацию состояния объекта на табло, управление шаговыми двигателями и т. д. Виртуальные машины более низких уровней (L_1, L_2, \dots) или их блоки также реализуют конечный набор функций или команд. Так, блок микропрограммного управления может реализовать переход к микропрограмме с адресом, который на единицу больше текущего адреса, условный или безусловный переход к указанному адресу микрокоманды, переход к микроподпрограмме или возврат из нее. Какой-либо контроллер внешнего устройства, подключенный к общей шине системы, может осуществлять только три операции (цикла): чтение, запись, чтение — пауза — запись, что определяется стандартом на шину.

В соответствии с принципом функциональной декомпозиции при отладке цифровой системы или ее составляющих необходимо проводить последовательную отладку функций, выполняемых системой или ее частью, а также проверку правильности выполнения последовательности функций.

На принципе функциональной декомпозиции, в частности, основаны многие современные методы выбора отладочных тестов для цифровых систем [2]. Следует отметить, что результат применения функциональной декомпозиции может совпадать с результатом структурной горизонтальной декомпозиции, например, в случае отладки микропрограмм, реализующих отдельные команды процессорного блока.

Декомпозиция по типам ошибок. При отладке цифровых систем методом моделирования могут быть выделены группы отладочных экспериментов для выявления ошибок определенных типов. Так, при проведении отладки могут использоваться машинные модели на уровне архитектуры системы и на уровне сети составляющих ее блоков, что в свою очередь подразделяется на модели для логической отладки и модели для верификации временных диаграмм. Более того, верификация временных диаграмм может проводиться с различной степенью подробности [3, 4]. Модели каждой степени детализации ориентированы на выявление определенных типов ошибок. Разделение задачи проверки технических средств цифровой системы на верификацию временных диаграмм и логическую отладку является результатом применения принципа декомпозиции задачи отладки по типам ошибок.

Принцип декомпозиции по типам ошибок может быть использован совместно с другими принципами декомпозиции. Примером такого подхода может служить моделирование на определенном уровне для выявления и устранения ошибок проектирования какого-либо типа, но проводимого не для всего проекта сразу, а для его отдельных структурных частей.

Алгебраическая модель программного обеспечения цифровых систем

Из представления цифровой системы в виде (1) видно, что программное обеспечение может иметь несколько уровней. Для формализованной обработки разработанного программного обеспечения необходимо иметь его формальную алгебраическую модель. При разработке этой модели были использованы идеи, изложенные в работе [5].

Формализация понятия оператора. Рассмотрим множество элементов $\mathbf{B} = \{b_1, b_2, \dots\}$, каждый из которых может находиться в одном из состояний конечного множества \mathbf{Z}_b^* . Назовем эти элементы элементами памяти. Элементами памяти в нашем случае являются как собственно ячейки ЗУ, так и программно доступные регистры блоков. Множество состояний памяти есть $\mathbf{P} = \prod_{b \in \mathbf{B}} \mathbf{Z}_b^*$. Элементы p этого множества определяют состояния всех элементов памяти. Отображение $\varepsilon: \mathbf{P}_1 \rightarrow \mathbf{P}_2$, где $\mathbf{P}_1 \in \mathbf{P}$, $\mathbf{P}_2 \in \mathbf{P}$, есть оператор над памятью, \mathbf{P}_1 — область определения оператора, \mathbf{P}_2 — область значений.

Рассмотрим конечное множество операторов \mathbf{E} . При выполнении программ и микропрограмм существенными являются не только изменения состояния элементов памяти (ячеек ЗУ и регистров), но также и переходы от одних команд (фрагментов) к другим. Введем в рассмотрение элемент S_c с конечным множеством значений \mathbf{N} . Пусть задано отображение $\delta: \mathbf{N} \rightarrow \mathbf{E}$. Здесь \mathbf{N} есть множество меток

операторов, в частном случае — подмножество натуральных чисел. Если элементы множества \mathbf{E} есть отдельные команды, то в качестве элементов множества \mathbf{N} могут рассматриваться адреса команд.

В общем случае фрагменты программы или микропрограммы, которые будут рассматриваться как операторы, могут иметь несколько входов. Обозначим конечное множество входов оператора ε через \mathbf{A}_1^ε . Отображение δ , ставящее в соответствие каждому входу всех операторов из \mathbf{E} одно или несколько значений $Cч$, представим в виде

$$\delta: \mathbf{N} \rightarrow \bigcup_{\varepsilon \in \mathbf{E}} \mathbf{A}_1^\varepsilon.$$

Назовем обобщенной памятью множество $\mathbf{V} \cup \{Cч\} \cup \mathbf{T}$, где \mathbf{T} — множество моментов времени. Состоянием обобщенной памяти назовем $o = (p, n, t)$, где p — состояние памяти перед выполнением оператора; n — метка выполняемого оператора; t — время начала выполнения оператора. Различные элементы o образуют множество состояний обобщенной памяти \mathbf{O} , где $\mathbf{O} = \mathbf{P} \times \mathbf{N} \times \mathbf{T}$. Будем считать, что каждый оператор ε кроме преобразования состояния памяти осуществляет передачу управления на следующий оператор и требует для своего выполнения определенного времени. В соответствии с этим оператором ε будем называть отображение

$$\varepsilon: \mathbf{O}_1 \rightarrow \mathbf{O}_2; \mathbf{O}_1 \subset \mathbf{O}; \mathbf{O}_2 \subset \mathbf{O},$$

где \mathbf{O}_1 — область определения оператора; \mathbf{O}_2 — область значений оператора.

Сам оператор ε задается в виде команды, микрокоманды или фрагмента программы (макрокоманды).

Структура областей определения и значения операторов. Рассмотрим структуру множеств \mathbf{O}_1 и \mathbf{O}_2 :

$$\mathbf{O}_1 = \bigcup_{a_1 \in \mathbf{A}_1} \mathbf{O}_1^{a_1}; \mathbf{O}_1^{a_1} = \mathbf{P}_1^{a_1} \times \{a_1\} \times \mathbf{T},$$

где \mathbf{A}_1 — конечное множество состояний $Cч$, соответствующих входам в оператор ε (множество входных меток); a_1 — элемент множества \mathbf{A}_1 ; $\mathbf{O}_1^{a_1}$ — подобласть определения ε , соответствующая входу с меткой a_1 ; $\mathbf{P}_1^{a_1}$ — подмножество допустимых состояний памяти перед выполнением оператора ε , соответствующее входу с меткой a_1 ; \mathbf{T} — множество моментов времени;

$$\mathbf{O}_2 = \bigcup_{a_2 \in \mathbf{A}_2} \mathbf{O}_2^{a_2}; \mathbf{O}_2^{a_2} = \mathbf{P}_2^{a_2} \times \{a_2\} \times \mathbf{T};$$

$$\mathbf{A}_2 \cap \mathbf{A}_1 = \emptyset,$$

где \mathbf{A}_2 — конечное множество состояний $Cч$, соответствующих выходам оператора ε (множество выходных меток); a_2 — элемент множества \mathbf{A}_2 ; $\mathbf{O}_2^{a_2}$ —

подобласть определения ε , соответствующая выходу с меткой a_2 ; $\mathbf{P}_2^{a_2}$ — подмножество возможных состояний памяти после выполнения оператора ε , соответствующих выходу с меткой a_2 ; \mathbf{T} — множество моментов времени.

Оператор ε , заданный указанным образом, определяет новое состояние памяти:

$$p_2 = \varepsilon_p(p_1, a_1), p_1 \in \mathbf{P}_1^{a_1}, a_1 \in \mathbf{A}_1,$$

где ε_p — отображение, задающее новое состояние памяти при выполнении оператора ε ;

новое состояние $Cч$:

$$a_2 = \varepsilon_a(p_1, a_1), p_1 \in \mathbf{P}_1^{a_1}, a_1 \in \mathbf{A}_1,$$

где ε_a — отображение, задающее метку выхода при выполнении оператора ε ;

новое значение времени:

$$t_2 = t_1 + t(p_1, a_1), t_1 \in \mathbf{T}, t_2 \in \mathbf{T},$$

где t_1 — значение времени перед выполнением оператора; t_2 — значение времени после выполнения оператора; $t(p_1, a_1)$ — время выполнения оператора.

Каждое выполнение оператора ε характеризуется парой (a_1, a_2) , $a_1 \in \mathbf{A}_1$, $a_2 \in \mathbf{A}_2$. Структура множеств \mathbf{O}_1 и \mathbf{O}_2 может быть задана следующим образом:

$$\mathbf{O}_1 = \prod_{\substack{a_1 \in \mathbf{A}_1 \\ a_2 \in \mathbf{A}_2}} \mathbf{O}_1^{a_1 a_2}; \mathbf{O}_1^{a_1 a_2} = \mathbf{P}_1^{a_1 a_2} \times \{a_1\} \times \mathbf{T};$$

$$\mathbf{P}_1^{a_1 a_2} \cap \mathbf{P}_1^{a_1 a_2'} = \emptyset \text{ при } a_2 \neq a_2';$$

$$\mathbf{O}_2 = \bigcup_{\substack{a_1 \in \mathbf{A}_1 \\ a_2 \in \mathbf{A}_2}} \mathbf{O}_2^{a_1 a_2}; \mathbf{O}_2^{a_1 a_2} = \mathbf{P}_2^{a_1 a_2} \times \{a_2\} \times \mathbf{T},$$

где $\mathbf{O}_1^{a_1 a_2}$, $\mathbf{O}_2^{a_1 a_2}$ — множества состояний обобщенной памяти до и после выполнения оператора ε при входе в него по метке a_1 и выходе по метке a_2 ;

$\mathbf{P}_1^{a_1 a_2}$, $\mathbf{P}_2^{a_1 a_2}$ — множества состояний памяти до и после выполнения оператора ε при входе в него по метке a_1 и выходе по метке a_2 .

В случае если прохождение оператора ε по пути $(a_1 a_2)$ невозможно, $\mathbf{P}_1^{a_1 a_2} = \emptyset$, $\mathbf{P}_2^{a_1 a_2} = \emptyset$.

Оператор ε определяет конечное множество подоператоров $\varepsilon^{a_1 a_2}$, $a_1 \in \mathbf{A}_1$, $a_2 \in \mathbf{A}_2$, соответствующих входу в оператор по метке a_1 и выходу по метке a_2 :

$$\varepsilon^{a_1 a_2}: \mathbf{P}_1^{a_1 a_2} \times \{a_1\} \times \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{P}_2^{a_1 a_2} \times \{a_2\} \times \mathbf{T}.$$

Каждый подоператор $\varepsilon^{a_1 a_2}$ определяет новое состояние памяти:

$$p_2 = \varepsilon_p^{a_1 a_2}(p_1), p_1 \in \mathbf{P}_1^{a_1 a_2}, p_2 \in \mathbf{P}_2^{a_1 a_2},$$

где $\varepsilon_p^{a_1 a_2}$ — отображение, задающее новое состояние памяти, новое состояние S , равное a_2 , и новое значение времени:

$$t_2 = t_1 + t^{a_1 a_2}(p_1), t_1 \in \mathbf{T}, t_2 \in \mathbf{T}, p_1 \in \mathbf{P}_1^{a_1 a_2},$$

где $t^{a_1 a_2}(p_1)$ — время выполнения оператора ε при входе в него по метке a_1 и выходе по метке a_2 .

Программное обеспечение как полугруппа операторов. Определим произведение операторов ε^I и ε^{II} , $\varepsilon^I \in \mathbf{E}$, $\varepsilon^{II} \in \mathbf{E}$ как оператор $\varepsilon^{III} = \varepsilon^I \varepsilon^{II}$. Необходимым условием существования этого произведения является $\mathbf{A}_1^I \cap \mathbf{A}_1^{II} = \emptyset$, где \mathbf{A}_1^I , \mathbf{A}_1^{II} — множества \mathbf{A}_1 операторов ε^I и ε^{II} соответственно.

Множества входных \mathbf{A}_1^{III} и выходных \mathbf{A}_2^{III} меток оператора ε^{III} есть

$$\mathbf{A}_1^{III} = \mathbf{A}_1^I \cup \mathbf{A}_1^{II};$$

$$\mathbf{A}_2^{III} = (\mathbf{A}_2^I \cup \mathbf{A}_2^{II}) / ((\mathbf{A}_1^I \cap \mathbf{A}_2^{II}) \cup (\mathbf{A}_1^{II} \cap \mathbf{A}_2^I)).$$

Соответственно, при выполнении операторов ε^I , ε^{II} существует определенная последовательность их работы, зависящая от начального состояния памяти p и входа a_1^{III} . Любое выполнение оператора ε^{III} характеризуется следом s , который есть слово в алфавите:

$$\{(a_1^I, a_2^I) | a_1^I \in \mathbf{A}_1^I, a_2^I \in \mathbf{A}_2^I\} \cup \{(a_1^{II}, a_2^{II}) | a_1^{II} \in \mathbf{A}_1^{II}, a_2^{II} \in \mathbf{A}_2^{II}\},$$

т. е.

$$s = (a_{1j_1}^{i_1}, a_{2k_1}^{i_1})(a_{1j_2}^{i_2}, a_{2k_2}^{i_2}) \dots (a_{1j_m}^{i_m}, a_{2k_m}^{i_m}), \quad (2)$$

где i_1, i_2, \dots, i_m принимают значения из множества $\{\mathbf{I}, \mathbf{II}\}$; $i_1 = i_3 = i_5 = \dots$; $i_2 = i_4 = i_6 = \dots$; $i_1 \neq i_2$;

$a_{1j_1}^{i_1}, a_{1j_3}^{i_3}, \dots$ принадлежат множеству \mathbf{A}_1^I ;

$a_{2k_2}^{i_2}, a_{2k_4}^{i_4}, \dots$ принадлежат множеству \mathbf{A}_2^I ;

$a_{1j_2}^{i_2}, a_{1j_4}^{i_4}, \dots$ принадлежат множеству \mathbf{A}_1^{II} ;

$a_{2k_2}^{i_2}, a_{2k_4}^{i_4}, \dots$ принадлежат множеству \mathbf{A}_2^{II} ;

$a_{1j_1}^{i_1} = a_1^{III}$; $a_{2k_1}^{i_1} = a_{1j_2}^{i_2}$;

$$a_{2k_2}^{i_2} = a_{1j_3}^{i_3}; \dots; a_{2k_m}^{i_m} = a_2^{III};$$

m — число букв в следе s , т. е. число прохождений через операторы $\varepsilon^I, \varepsilon^{II}$.

Каждой паре (a_1^{III}, a_2^{III}) оператора ε^{III} соответствует множество следов вида (2). Необходимым условием того, что $p \in \mathbf{P}_1^{III a_1 a_2}$, является конечность

следа s . Здесь $\mathbf{P}_1^{III a_1 a_2}$ — множество состояний па-

мяти, на котором определен оператор $\varepsilon^{III a_1 a_2}$, т. е. оператор ε^{III} при входе в него по метке a_1 и выходе

по метке a_2 . Для каждой пары (a_1, a_2) , $a_1 \in \mathbf{A}_1^{III}$,

$a_2 \in \mathbf{A}_2^{III}$ рассмотрим множество $\mathbf{S}^{a_1 a_2}$ конечных

следов. Каждый след $s \in \mathbf{S}^{a_1 a_2}$ определяет выполнение последовательности операторов и задает преобразование состояния памяти, элемента S и времени.

Таким образом, на множестве операторов \mathbf{E} определена полугруппа, причем произведение любой последовательности операторов, если $\mathbf{A}_2^i \cap \mathbf{A}_1^j \neq \emptyset$ при $i \neq j$, для всех операторов существует и является оператором. Отметим, что при использовании введенной операции умножения результат произведения набора операторов не зависит от последовательности умножения.

В качестве одного из операторов можно рассматривать команду останова. Эта команда в программах реального времени используется для останова в режиме ожидания запроса на прерывание. В этом случае команду останова можно рассматривать как выполняющийся за один такт оператор, который при отсутствии запроса на прерывание передает управление на свою входную метку и, как и все остальные команды при немаскированном прерывании, в качестве одного из аргументов проверяет состояние регистра запроса на прерывание. Отметим, что для вычислительных программ, в которых прерывания могут не использоваться, команда останова может рассматриваться как оператор с $\mathbf{A}_2 = \emptyset$.

Программой является оператор с $\mathbf{A}_2 = \emptyset$. Программа может содержать или не содержать оператора останова.

После того как программа или микропрограмма сформирована в виде произведения некоторого множества операторов, выделим в множестве входных меток некоторое множество внешних входов программы или микропрограммы. Хотя в общем случае возможно наличие нескольких входов в программу или микропрограмму, в программе или микропрограмме цифровой системы в целом, как правило, имеется одна точка, с которой начинается ее выполнение при включении питания.

Учет действия прерываний осуществляется выделением в множестве **V** регистров запроса на прерывание и регистров векторов прерывания.

Заключение

Рассмотренные методы декомпозиции отладки проектов цифровых систем на этапе проектирования могут модифицироваться и, как указывалось выше, использоваться в смешанном варианте. Примером этого является смешанное моделирование проектов цифровых систем, когда одни части проекта моделируются на более высоком уровне, скажем, на уровне просто логических сигналов, а другие, наиболее критические, — на более детальном уровне, например, с подробным анализом фронтов сигналов.

Если отладка программного или микропрограммного обеспечения осуществляется с использованием моделирования технических средств, она может быть выполнена на машинных моделях как функционально-логического уровня, так и уровня архитектуры или микроархитектуры.

Использование предложенных моделей позволит учесть особенности программно-микропрограммного обеспечения современных цифровых

систем и разработать систему его автоматизированного тестирования с высокой эффективностью. При этом возможна реализация автоматизированной генерации тестовых входных взаимодействий как на основе структуры программно-микропрограммного обеспечения, так и на основе анализа заданных в спецификации алфавита выполняемых функций и их возможных последовательностей.

Список литературы

1. **Иванников А. Д., Стемповский А. Л.** Формализация задачи отладки проектов цифровых систем // Информационные технологии. 2014. № 9. С. 3—10.
2. **Иванников В. П., Камкин А. С., Косачев А. С., Кулямин В. В., Петренко А. К.** Использование контрактных спецификаций для представления требований и функционального тестирования моделей аппаратуры // Программирование. 2007. Т. 33, № 5. С. 47—62.
3. **Гаврилов С. В., Гудкова О. Н., Щелоков А. Н.** Логико-временной анализ нанометровых схем на основе интервального подхода // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 7 (132). С. 85—91.
4. **Стемповский А. Л., Гаврилов С. В., Глебов А. Л.** Методы логического и логико-временного анализа цифровых КМОП СБИС. М.: Наука. 2007. 220 с.
5. **Ляпунов А. А.** К алгебраической трактовке программирования // В кн.: Проблемы кибернетики. М.: Наука. 1962. Вып. 2. С. 235—241.

A. D. Ivannikov, Doctor of Sciences, Deputy Director, e-mail: ADI@ippm.ru,
Institute for Design Problems in Microelectronics of Russian Academy of Sciences

Decomposition Methods Analysis for Digital System Design Debugging

The task of digital systems project debugging is usually fulfilled by simulation. Due to the complexity and large dimensions of the task decomposition methods are proposed. The following methods are described and examined: vertical and horizontal structure decomposition, functional decomposition, decomposition based on error types.

The concept of an operator upon digital system memory is formally introduced on the algebraic approach bases. The concept of a generalized memory consisting of memory cells, register contents, active operator label and current time value is introduced. An operator functioning upon generalized memory is formalized. Structural analysis of an operator domain and operator range is fulfilled. The definition of operator's product is introduced, the condition of such a product existence is analyzed. It is shown that any digital system software is the product of operators, operator set is a semi group. The developed formal model is supposed to be used for the creation of digital systems software test generation.

Keywords: complex digital system model, debugging by computer simulation, system on a chip design, logical simulation, logic timing analysis, algebraic models, algebraic model for software, program as a semi group of operators

References

1. **Ivannikov A. D., Stempkovsky A. L.** Formalizaciya zadachi otladki projektov cifrovih sistem (Formal mathematical representation for the task of digital system projects debugging), *Informacionnie Technologii*, 2014, no. 9, pp. 3—10 (in Russian).
2. **Ivannikov V. P., Kamkin A. S., Kossachev A. S., Kuliamin V. V., Petrenko A. K.** Ispolzovanie kontraktnih specifikacij dlya predstavleniya trbovaniy i funkcionalnogo testirovaniya apparaturi (The use of contract specifications for representing requirements and for functional testing of hardware models), *Programirovanie*, 2007, vol. 33, no. 5, pp. 47—62 (in Russian).

3. **Gavrilov S. V., Gudkova O. N., Schelokov A. N.** Logiko-vremennoi analis nanometrovih shem na osnove intervalnogo podhoda (Logika-timing analysis of nanometer circuits on interval approach base, *Izvestia UFU, Technicheskie nauki*, 2012, no. 7 (132), pp. 85—91 (in Russian).
4. **Stempkovsky A. L., Gavriliv S. V., Glebov A. L.** *Metodi logicheskogo i logiko-vremennogo analiza cifrovih KMOS SBIS* (Methods of logical and logico-timing analysis for digital CMOS LSI). Moscow, Nauka, 2007. 220 pp. (in Russian).
5. **Liapunov A. A.** *K algebraicheskoy traktovke programmirovaniya* (For the algebraic treatment of programming). In the book: *Problemi kibernetiki*, Moscow, Nauka, 1962, Iss. 2, pp. 235—241 (in Russian).

Б. Г. Ильясов, д-р техн. наук, проф. кафедры "Техническая кибернетика", Pyasov@tc.ugatu.ac.ru,
В. Е. Гвоздев, д-р техн. наук, проф., зав. каф., wega55@mail.ru,
О. Я. Бежаева, канд. техн. наук, доц., obezhaeva@gmail.com,
Р. Р. Курунова, аспирант, roksana.kurunova@gmail.com
 ФГБОУ ВО "Уфимский государственный авиационный технический университет",
 г. Уфа, Российская Федерация

Сравнительный анализ проектных решений по комплексу потребительских свойств и технических характеристик объектов*

Предложен подход к сравнительному анализу альтернатив технических систем на основе комплексного исследования предполагаемых внешних и внутренних свойств изделий. Использование предлагаемого подхода позволяет повысить обоснованность решений о целесообразности внесения изменений в требования к потребительским свойствам и техническим характеристикам. Предлагаемый подход позволяет разработать формальную процедуру сравнительного анализа вариантов изделий.

Ключевые слова: разворачивание функции качества, "Дом качества", альтернативные варианты, экспертные оценки, потребительские свойства, технические характеристики, эталонная виртуальная модель, знаково-ориентированные графы, алгоритм сравнительного анализа

Введение

Одной из основных угроз провала проектов реализации технических систем, в которых важную роль играют встроенные подсистемы обработки информации и управления, является внесение изменений в требования к свойствам упомянутых подсистем (объектов¹) [1] на разных стадиях жизненного цикла изделий без учета их взаимовлияния. Разворачивание функции качества (*Quality Function Deployment*) является универсальным аппаратом, который в рамках единого формального подхода позволяет оценить особенности объектов одновременно как с точки зрения потребителя, так и с точки зрения разработчика [2—4]. В настоящей статье рассматривается подход и реализуемый на его основе формальный аппарат, позволяющий выполнить анализ целесообразности внесения изменений в требования, соотносимые с потребительскими свойствами и техническими характеристиками объекта.

1. Определение свойств базового объекта

Одной из широко используемых технологий анализа проектных решений является технология "Дом качества" [5—7]. Основу технологии составляет модель, дающая взаимосвязанные описания внешнего облика (потребительских свойств объекта) и его внутренних характеристик. В литературе описаны различные варианты реализации этой модели, ориентированные на описание объектов как каче-

ственными, так и количественными признаками. Обобщенная модель "Дом качества" представлена на рис. 1.

Номерами на рис. 1 отмечены основные составляющие "Дома качества":

- 1 — потребительские свойства объектов, представленные в виде функциональных и нефункциональных требований ("голос потребителя" [3]);
- 2 — технические характеристики объектов;
- 3 — центральная часть "Дома качества", представляющая собой матрицу связи требований и технических характеристик;

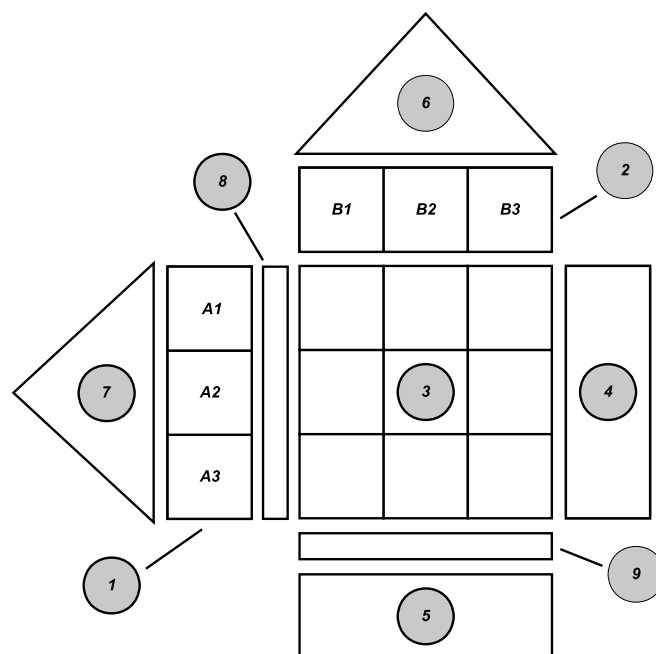


Рис. 1. Обобщенная модель "Дом качества"

*Работа поддержана грантом РФФИ № 14-08-97036.

¹ Термин "объект" понимается в смысле, определенном в ГОСТ Р 51901.5—2005.

4 — правая "комната" "Дома качества", которая представляет собой оценку качества реализации требований с точки зрения потребителей в разрабатываемом объекте и существующих аналогах; оценки даются в балльных шкалах, например, в случае использования пятибалльной шкалы [8]: 1 — это худшая реализация, 5 — лучшая реализация, 2, 3, 4 — промежуточные градации качества реализации функциональных требований;

5 — "подвал" "Дома качества", представляющий собой инженерную оценку технических характеристик по сравнению с характеристиками существующих аналогов; оценки даются в балльной шкале того же размера, что и в правой "комнате". Оценка свойств объекта относительно изделий аналогичного назначения по совокупности потребительских свойств и технических характеристик графически представляется в виде ломаных линий (рис. 2);

6 — "крыша" "Дома качества" представляет собой матрицу влияния технических характеристик друг на друга;

7 — "крыльцо" "Дома качества" представляет собой матрицу влияния требований друг на друга;

8 — весовые характеристики важности требований для потребителей;

9 — оценка технической возможности и трудоемкости обеспечения требуемых технических характеристик.

Более подробное описание компонентов модели "Дом качества" можно найти в работах [2, 7, 8].

Лингвистические переменные, поставленные в соответствие компонентам матрицы центральной части "Дома качества", отражают степень взаимовлияния требований заказчика и технических характеристик (рис. 2). Компоненты матрицы также имеют знак, отражающий характер влияния (прямое и обратное), направление влияния указывается посредством стрелок [9].

Центральной частью рассматриваемого ниже подхода сравнительного анализа вариантов реализации объекта по совокупности признаков, характеризующих как его потребительские свойства, так и технические характеристики, является расчет степени отклонения свойств и характеристик объекта от аналогичных свойств виртуального "базового" объекта. Свойства "базового" объекта определяют следующим образом.

Пусть определены функциональные и нефункциональные требования, характеризующие потребительские свойства $\{T^{(PC)}\}_1^M$ и обеспечивающие их реализацию, определяющие технические характеристики $\{T^{(TX)}\}_1^N$ создаваемого объекта. Примем в рассмотрение требование $T_1^{(PC)}$ из множества требований $T_1^{(PC)} \in \{T^{(PC)}\}_1^M$. В результате

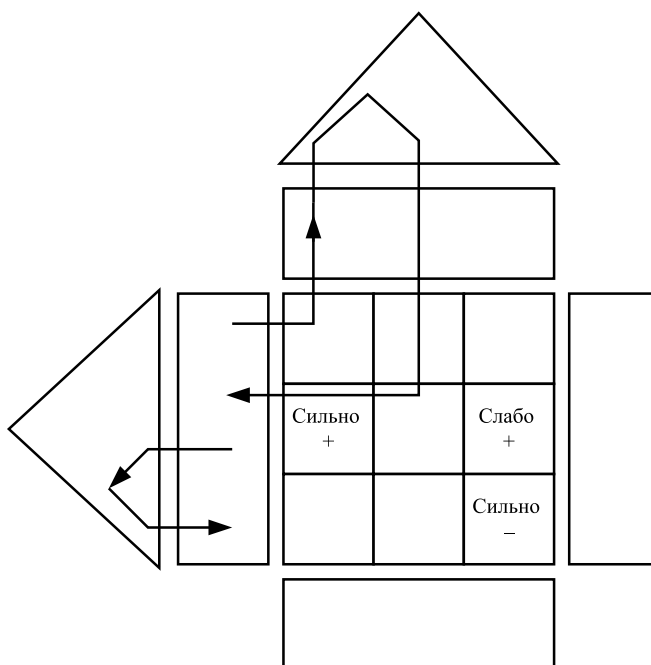


Рис. 2. Степень, знак и направление влияния функциональных требований и технических характеристик

изучения потребительских свойств объектов-аналогов, выделим объект с наилучшей реализацией требования $T_{1,\Theta}^{(PC)}$. Будем считать, что это требование реализуется "базовым" объектом. Поступая аналогичным образом, сформируем остальные свойства, присущие "базовому" объекту $\{T_{\Theta}^{(PC)}\}_1^M$. По аналогичной схеме определим технические характеристики "базового" объекта $\{T_{\Theta}^{(TX)}\}_1^N$.

"Базовый" объект является виртуальным и не существует в действительности. Тем не менее, в силу того, что его свойства и характеристики определены на основе исследования свойств и характеристик реально существующих объектов, в принципе эти свойства и характеристики являются достижимыми при ныне существующем уровне развития технологий проектирования и производства объектов (т. е. "базовому" объекту можно поставить в соответствие понятие "достижимой цели" [10]). Следует особо подчеркнуть, что предлагаемый подход предполагает существование объектов аналогичного назначения. Если объектов-аналогов нет, то создаваемый объект сам окажется "базовым".

2. Метод анализа вариантов реализации объектов по совокупности потребительских свойств и технических характеристик

Во многих литературных источниках [11–13] и др. отмечается, что противоречия являются неотъемлемым свойством задачи синтеза сложных систем. При проектировании объекта естественным

желанием является улучшить те его потребительские свойства и технические характеристики, которые, по мнению экспертов, хуже, чем у объектов-аналогов. Однако попытка улучшить свойства и характеристики в ряде случаев может дать обратный эффект (это является проявлением известного свойства "контринтуитивного поведения сложных систем"). Одной из причин отличия фактического результата от ожидаемого является игнорирование сложного, транзитивного характера связей между потребительскими (внешними) свойствами и техническими (внутренними) характеристиками объекта.

Ниже приведено описание алгоритма, позволяющего выполнить пошаговый анализ влияния изменений, вносимых в отдельные требования, отображающие потребительские свойства объекта, на комплексный показатель качества объекта и позволяющего количественно охарактеризовать отклонение свойств объекта от аналогичных свойств "базового" объекта с учетом связей как между, так и внутри различных компонентов модели "Дом качества".

Шаг 1. Множество всех требований в правой "комнате" (номер 4 на рис. 1) "Дома качества" обозначим $\{d\}$, мощность множества — n . Множество всех характеристик в "подвале" (номер 5 на рис. 1) обозначим $\{D\}$, мощность множества — N .

Пусть $d_{\text{опт } i}$ — целевое значение i -го потребительского свойства ($i = 1; n$), соответствующее i -му требованию "базового" объекта, чему соответствует наибольшее значение балльной оценки; $D_{\text{опт } j}$ — целевое значение j -й технической характеристики ($j = 1; N$), соответствующей j -й характеристике базового объекта, чему соответствует наибольшее значение балльной оценки; $d_{\text{факт } i}$ — оценка i -го требования, соответствующая создаваемому объ-

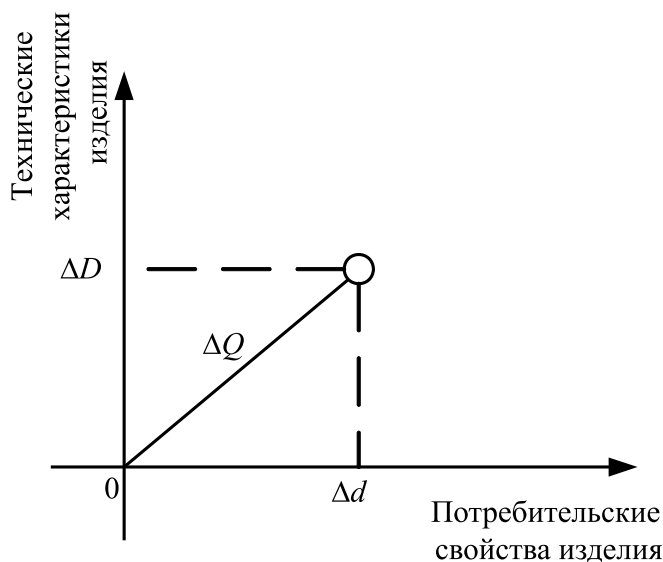


Рис. 3. Комплексная оценка отличия свойств создаваемого и "базового" объектов по совокупности потребительских свойств и технических характеристик

екту и задаваемая в балльной шкале; $D_{\text{факт } j}$ — оценка j -й характеристики создаваемого объекта и задаваемая в балльной шкале; Δd — метрическая характеристика различия потребительских свойств, обусловленных требованиями разрабатываемого и "базового" объекта и рассчитываемая посредством евклидовой метрики

$$\Delta d = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (d_{\text{опт } i} - d_{\text{факт } i})^2}}{n}; \quad (1)$$

ΔD — метрическая характеристика различия технических характеристик разрабатываемого и "базового" объекта и рассчитываемая по аналогичной формуле

$$\Delta D = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^N (D_{\text{опт } j} - D_{\text{факт } j})^2}}{N}. \quad (2)$$

Шаг 2. Рассчитаем расстояние ΔQ , комплексно характеризующее различие между разрабатываемым и "базовым" объектом (рис. 3):

$$\Delta Q = \sqrt{\Delta d^2 + \Delta D^2}. \quad (3)$$

Шаг 3. Выявим требование, которое желательно изменить в лучшую сторону (в случае использования пятибалльной шкалы это означает, что балльная оценка потребительского свойства, которому соответствует требование, меньше 5).

Шаг 4. Воздействуя на то требование, которое следует улучшить, можно рассчитать перемещение значения $(\Delta d, \Delta D)$ по осям потребительских свойств и технических характеристик. Если расстояние ΔQ будет увеличиваться, то изменение требования является нежелательным. Если расстояние будет уменьшаться, приближаясь к нулю, то изменение этого требования целесообразно.

Ограничения предлагаемого метода следующие.

1. Область применимости метода (ограничения на масштаб исследуемого объекта) ограничивается возможностью описания объекта моделью "Дом качества".

2. Одновременное изменение вносится только в одно функциональное или нефункциональное требование. Одновременное внесение изменений в несколько требований не допускается.

3. Необходимо установить соответствия лингвистических характеристик силы связи и значений балльной шкалы, например, в данной работе принято:

а) "сильно" означает, что изменение исходного требования на 0,5 балла приводит к изменению заявленного на 0,5 балла;

б) "средне" означает, что изменение исходного требования на 0,5 балла приводит к изменению заявленного на 0,25 балла;

с) "слабо" означает, что изменение исходного требования на 0,5 балла приводит к изменению заявленного на 0,1 балла.

4. Если в пути, связывающем требования и технические характеристики, присутствует различие по степени силы связи, то пути в целом ставится в соответствие наименьшая сила связи [14].

5. Если между требованиями имеется несколько путей, причем разным путям ставится в соответствие разная сила связи, то берется максимальная по значению сила связи [14].

3. Пример анализа вариантов проектных решений

Проиллюстрируем описанный алгоритм анализа на примере изделия, которому соответствует "Дом качества", представленный на рис. 4.

Оценки, выставленные в правой комнате "Дома качества" (см. номер 4 на рис. 1), соответствуют текущему состоянию реализации требований, отображающих потребительские свойства объекта. Реализация требований в текущем варианте реализации объекта оценивается экспертами в 4, 2, 1 и 3 балла соответственно (рис. 4). Можно сделать вывод, что возможно улучшать потребительские свойства объекта за счет каждого из четырех требований (A, B, C, D).

Отличие потребительских свойств объекта (1) по сравнению с "базовым" составляет

$$\Delta d = \frac{\sqrt{(5-4)^2 + (5-2)^2 + (5-1)^2 + (5-3)^2}}{4} = 1,369.$$

Отличие технических характеристик объекта (2) по сравнению с "базовым" составляет

$$\Delta D = \frac{\sqrt{(5-3)^2 + (5-4)^2 + (5-2)^2 + (5-2)^2}}{4} = 1,199.$$

Комплексный показатель различия свойств объекта по сравнению с "базовым" (3) будет

$$\Delta Q = \sqrt{1,369^2 - 1,199^2} = 1,820.$$

Необходимо исследовать, возможно ли приблизить свойства объекта к свойствам "базового" при существующих связях как между требованиями и техническими характеристиками, так и между требованиями и между техническими характеристиками (т. е. с учетом особенностей 3-го, 6-го и 7-го компонентов "Дома качества"). Для этого поставим в соответствие "Дому качества", изображенному на рис. 4, знаково-ориентированный граф [9], представленный на рис. 5.

Поочередно, начиная с требования A, будем изменять требования в сторону улучшения. Признаком улучшения является повышение балльной оценки. Допустим, что один шаг изменения балльной оценки составляет 0,5 балла. Исследуем, как

будет изменяться при этом ΔQ . Из рис. 5 следует, что в силу наличия связей, кроме требования, которое будет изменяться целенаправленно, также будут меняться связанные с ним технические характеристики и другие требования (если связь имеет знак "+", то улучшение одного требования приводит к улучшению другого; если связь имеет знак "-", то улучшение одного свойства приводит к ухудшению другого). На рис. 6 выделен подграф, соответствующий требованию A и связанным с ним другими требованиями и техническими характеристиками.

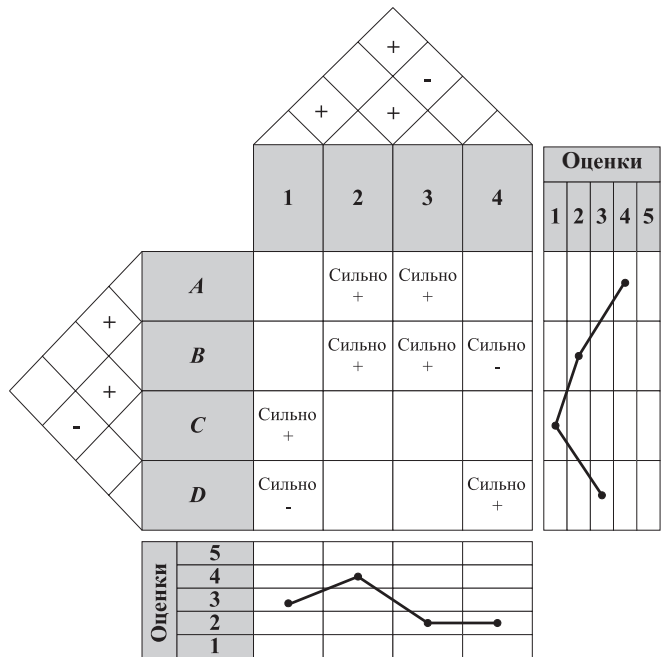


Рис. 4. Пример "Дома качества"

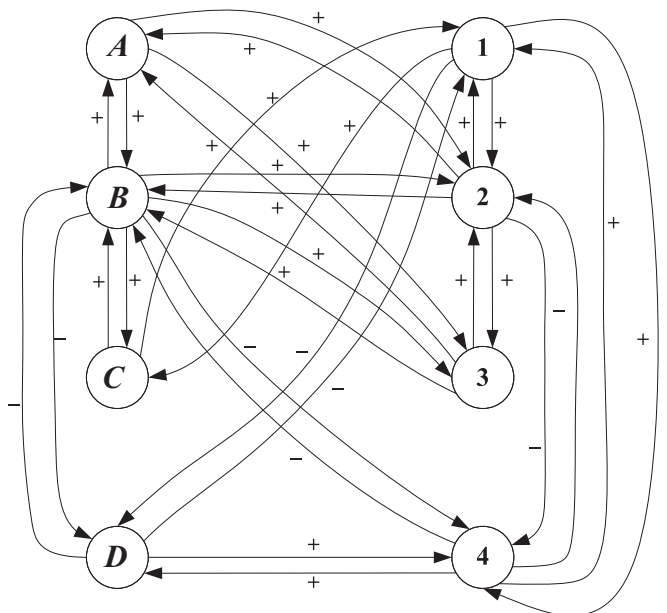


Рис. 5. Знаково-ориентированный граф, соответствующий "Дому качества", представленному на рис. 4. Буквы соответствуют требованиям; цифры — техническим характеристикам

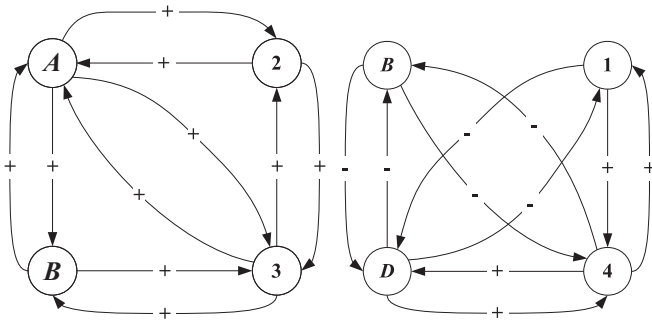


Рис. 6. Подграф, отображающий связи между требованием А, другими функциональными требованиями и техническими характеристиками

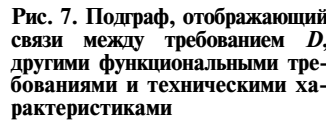


Рис. 7. Подграф, отображающий связи между требованием D, другими функциональными требованиями и техническими характеристиками

Результаты пошагового изменения требования А, относительно свойств "базового" объекта

Состояние	Δd	ΔD	ΔQ
Исходное состояние	1,369	1,199	1,820
После шага 1	1,287	1,104	1,696
После шага 2	1,225	1,031	1,601

Согласно ранее описанному алгоритму, улучшим требование А на 0,5 балла. По причине одинаковой силы связей, соответствующих ячейкам центральной части "Дома качества" (см. рис. 4), связанные с требованием А требования и характеристики получают следующие значения (см. рис. 6):

- требование В, имеющее положительную связь с требованием А, увеличится на 0,5, т. е. вместо значения 2 примет значение 2,5;
- характеристика 2, имеющая положительную связь с требованием А, увеличится на 0,5, т. е. вместо значения 4 примет значение 4,5;
- характеристика 3, имеющая положительную связь с требованием А, увеличится на 0,5, т. е. вместо значения 2 примет значение 2,5.

Отличия потребительских свойств, технических характеристик и комплексного показателя различия относительно свойств "базового" объекта составят

$$\Delta d_1^A = \frac{\sqrt{(5-4,5)^2 + (5-2,5)^2 + (5-1)^2 + (5-3)^2}}{4} = 1,287;$$

$$\Delta D_1^A = \frac{\sqrt{(5-3)^2 + (5-4,5)^2 + (5-2,5)^2 + (5-2)^2}}{4} = 1,104;$$

$$\Delta Q_1^A = \sqrt{1,290^2 - 1,100^2} = 1,696.$$

Выполним еще один проход алгоритма (изменим требование так, чтобы оценка требования А

вновь изменилась на 0,5 балла) и рассчитаем отличие потребительских свойств, технических характеристик и комплексного показателя различия относительно свойств "базового" объекта:

$$\Delta d_2^A = \frac{\sqrt{(5-5)^2 + (5-3)^2 + (5-1)^2 + (5-3)^2}}{4} = 1,225;$$

$$\Delta D_2^A = \frac{\sqrt{(5-3)^2 + (5-5)^2 + (5-3)^2 + (5-2)^2}}{4} = 1,031;$$

$$\Delta Q_2^A = \sqrt{1,22^2 - 1,03^2} = 1,601.$$

Вынесем все полученные результаты в таблицу.

Из таблицы видно, что показатель ΔQ , комплексно характеризующий различие свойств "базового" объекта и создаваемого, монотонно уменьшается, т. е. внесение изменений в требование А целесообразно.

Будем действовать аналогичным образом по отношению к требованиям В, С, D. Например, на рис. 7 выделен подграф, соответствующий требованию D и связанными с ним другими требованиями и техническими характеристиками.

Отобразим полученные результаты в пространстве "потребительские свойства изделия" — "технические характеристики изделия" (см. рис. 3) на рис. 8—10. Цифры в скобках соответствуют: первая — номер

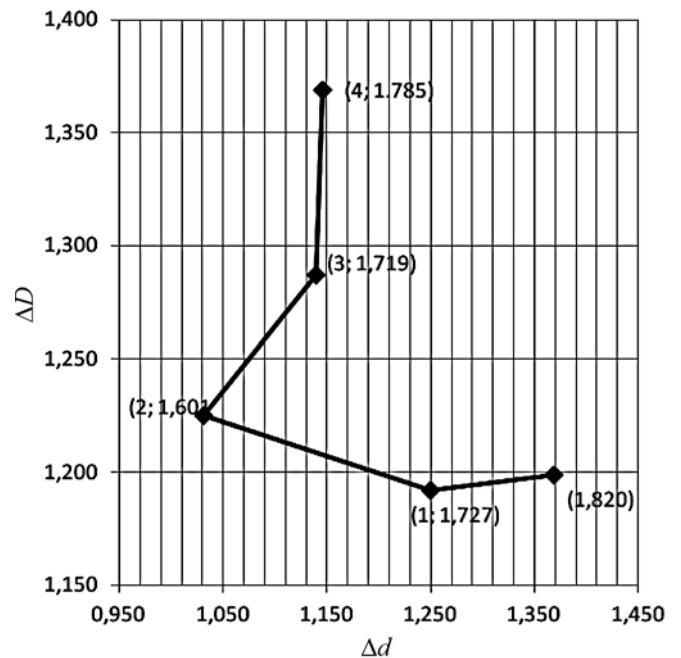


Рис. 8. Изменение комплексного показателя потребительских свойств и технических характеристик объекта при изменении требования В

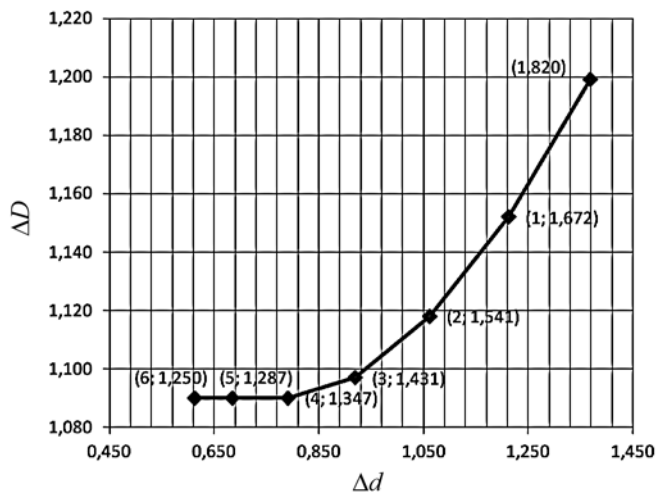


Рис. 9. Изменение комплексного показателя потребительских свойств и технических характеристик объекта при изменении требования *C*

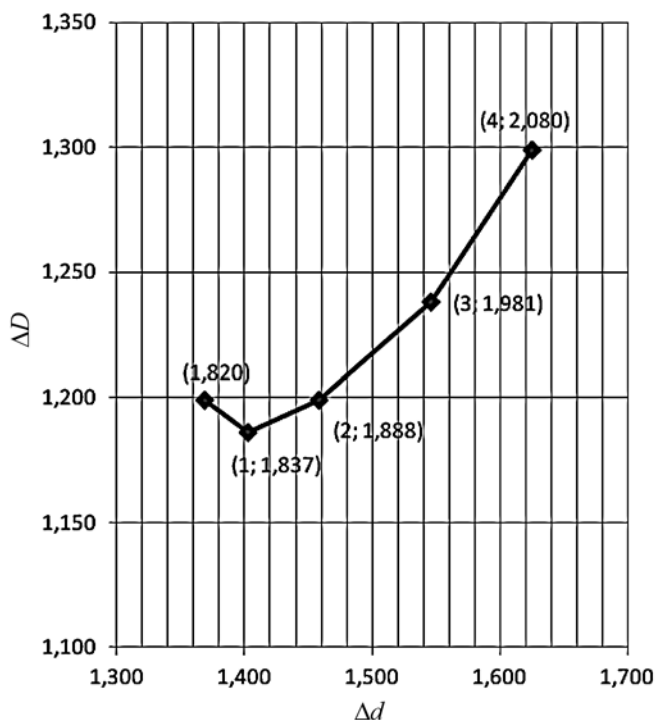


Рис. 10. Изменение комплексного показателя потребительских свойств и технических характеристик объекта при изменении требования *D*

шага; вторая — числовому значению ΔQ . Например, для рис. 8: (4; 1,785) — шаг 4, $\Delta Q = 1,785$.

Из рис. 8 следует, что изменение требования *B* после шага 2 дает ухудшение комплексного показателя, характеризующего различие создаваемого и "базового" объектов, т. е. свойства объекта удаляются от свойств "базового" объекта. Такое реагирование на изменение можно объяснить тем, что в системе присутствуют обратные связи (см. рис. 5), т. е. она является нелинейной.

Из рис. 9 следует, что изменение требования *C* улучшает значение комплексного показателя, т. е. свойства объекта приближаются к свойствам "базового" объекта.

Из рис. 10 следует, что изменение требования *D* целесообразно только на шаге 1, последующее изменение требования приведет к ухудшению значения комплексного показателя.

Заключение

Предложен подход, позволяющий выполнять сравнительный анализ проектных решений на ранних стадиях жизненного цикла объектов. Основу подхода составляет формирование виртуального "базового" объекта, а также учет особенностей транзитивных связей между требованиями, отображающими потребительские свойства объекта, а также его технические характеристики.

Метод сравнительного анализа проектных решений, реализующий предлагаемый подход, отличается от известных технологий использования модели "Дом качества" тем, что позволяет оценить изменение свойств объекта, относительно свойств "базового" объекта, обусловленные внесением изменений в требования. Это, в свою очередь, позволяет повысить сбалансированность свойств объектов, т. е. повысить качество проектных решений [15].

Разработанный метод позволяет разработать полностью формализованную процедуру анализа последствий изменений требований. Это, в свою очередь, позволяет реализовать процедуру в виде программного компонента в составе систем автоматизированного проектирования аппаратно-программных комплексов.

Список литературы

1. Вермишев Х. Ю. Управление разработкой сложного объекта // Информационные технологии. 2005. № 4. С. 8–15.
2. Bahill A. T., Chapman W. L. A tutorial on quality function deployment // Engineering Management Journal. 1993. Vol. 5, N. 3. P. 24–35.
3. Mazur G. H. QFD for service Industries from voice of customer to task development // The Fifth Symposium on Quality Function Deployment Novi, Michigan, June 20–22, 1993.
4. Mallon J. C., Mulligan D. E. Quality Function Deployment — A system for meeting customers' needs // Journal of Construction Engineering and Management. 1993. Vol. 119, N. 3. P. 516–531.
5. Shahin A. Quality Function Deployment: A Comprehensive Review. 2005. 25 p.
6. Harty D. Quality Function Deployment. An Overview of QFD and its Applications to Software Engineering // MSE 530. 2001. 20 p.
7. Bossert J. L. Quality Function Deployment: A Practitioner's Approach // ASQC Quality Press. 1991. 127 p.
8. Милошевич Д. Набор инструментов для управления проектами М.: Компания АйТи: ДМК Пресс, 2008. 729 с.
9. Гвоздев В. Е., Бежаева О. Я., Курунова Р. Р. Выявление противоречий в требованиях к программному продукту на основе исследования непрямых связей между ними // Программная инженерия. 2015. № 7. С. 11–20.
10. Чекмарев А. Н. Квалиметрия и управление качеством. Ч. 1. Квалиметрия: учеб. пособие. Самара: Изд. СГАУ, 2010. 172 с.

11. **Kaplan S., Visneposlchi S., Zlotin B., Zusman A.** New Tools For Failure and Risk Analysis. Ideation International Inc., 2005. 71 p.
12. **Липаев В. В.** Анализ и сокращение рисков проектов сложных программных средств. М.: Синтег, 2005. 224 с.
13. **Ларичев О. И.** Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в Волшебных странах: учебник. М.: Университетская книга, 2008. 392 с.

14. **Pelaez E., Bowles J. W.** Using Fuzzy Cognitive Maps as a System Model for Failure Modes and Effects Analysis // Information Sciences. 1996. N. 88. P. 177—199.

15. **Поляков С. Д.** Применение стандартизованных моделей качества при разработке требований к компьютерным системам // Информационные технологии. 2013. № 6. С. 22—26.

B. G. Ilyasov, Dr. of Tech. Sci., Prof. ilyasov@ugatu.ac.ru,
V. E. Gvozdev, Dr. of Tech. Sci., Prof., wega55@mail.ru,
O. Ya. Bezhaeva, Associate Professor, obezhaeva@gmail.com,
R. R. Kurunova, Postgraduate Student, roksana.kurunova@gmail.com
 Ufa State Aviation Technical University (USATU), Ufa

Comparative Analysis of Design Decisions on Complex of Consumer Properties and Specifications of the Object

This paper deals with the comparative analysis of alternative technical systems on the basis of a comprehensive study of the estimated external and internal properties of the product. The basis of the proposed approach is known formalism — Quality Function Deployment which implemented as a model of the "House of Quality". The concept of a "etalon virtual products", the characteristics of which are formed on the basis of data on the properties of products-analogues. The proposed approach differs from the known formalism quality function deployment that allows quantify the differences between the etalon and the proposed product on a complex of consumer properties and specifications.

Using the proposed approach can improve the validity of decisions on the advisability of amending the requirements for consumer features and specifications. The proposed approach makes it possible to develop a formal procedure for the comparative analysis of product variants, enabling its implementation in the form of software tools.

Keywords: quality function deployment, "House of Quality", analysis of alternatives, expert assessments, consumer properties, specifications, etalon virtual model, semantic-oriented graphs, comparative analysis algorithm

References

1. **Vermishev H. Ju.** Upravlenie razrabotkoj slozhnogo obekta (Control of Complex Project Development), *Informacionnye tehnologii*, 2005, no. 4, pp. 8—15.
2. **Bahill A. T., Chapman W. L.** A tutorial on quality function deployment, *Engineering Management Journal*, 1993, vol. 5, no. 3, pp. 24—35.
3. **Mazur G. H.** QFD for service Industries from voice of customer to task development, *The Fifth Symposium on Quality Function Deployment Novi*, Michigan, June 20—22, 1993.
4. **Mallon J. C., Mulligan D. E.** Quality Function Deployment — A system for meeting customers' needs, *Journal of Construction Engineering and Management*, 1993, vol. 119, no. 3, pp. 516—531.
5. **Shahin A.** *Quality Function Deployment: A Comprehensive Review*, 2005, 25 p.
6. **Harty D.** Quality Function Deployment. An Overview of QFD and its Applications to Software Engineering, *MSE 530*, 2001, 20 p.
7. **Bossert J. L.** *Quality Function Deployment: A Practitioner's Approach*, ASQC Quality Press, 1991, 127 p.
8. **Miloshevich D.** *Nabor instrumentov dlja upravlenija proektami* (A set of tools for project management), Moscow, Kompanija AjTi: DMK Press, 2008, 729 p.
9. **Gvozdev V. E., Bezhaeva O. Ja., Kurunova R. R.** Vyjavlenie protivorechij v trebovaniyah k programmnomu produktu na osnove

issledovanija neprjamyh svjazej mezhdu nimi (Identification of contradictions in the requirements for software product based on a study of indirect links between them), *Programmaja inzhenerija*, 2015, no. 7, pp. 11—20.

10. **Chekmarev A. N.** Kvalimetrija i upravlenie kachestvom (Quality and quality management). Ch. 1. *Kvalimetrija: uchebnoe posobie*, Samara, Izd. SGAU, 2010, 172 p.

11. **Kaplan S., Visneposlchi S., Zlotin B., Zusman A.** *New Tools For Failure and Risk Analysis*, Ideation International Inc., 2005, 71 p.

12. **Lipaev V. V.** *Analiz i sokrashenie riskov proektov slozhnyh programnyh sredstv* (Analysis and reduction of risks of complex software projects), Moscow, Sinteg, 2005, 224 p.

13. **Larichev O. I.** *Teorija i metody prinjatija reshenij, a takzhe hronika sobytij v Volshebnyh stranah: Uchebnik* (Theory and methods of decision-making as well as a chronicle of events in a magical land: Tutorial), Moscow, Universitetskaja kniga, 2008, 392 p.

14. **Pelaez E., Bowles J. W.** Using Fuzzy Cognitive Maps as a System Model for Failure Modes and Effects Analysis, *Information Sciences*, 1996, no. 88, pp. 177—199.

15. **Poljakov S. D.** Primenenie standartizirovannyh modelej kachestva pri razrabotke trebovanij k komp'juternym sistemam (Application of the Standardized Models of Quality when Developing Requirements to Computer Systems), *Informacionnye tehnologii*, 2013, no. 6, pp. 22—26.

Е. В. Кузнецова, канд. экон. наук, доц., Ev.Kuznetsova@hse.ru,
Т. К. Кравченко, д-р экон. наук, проф., tkravchenko@hse.ru,
Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики",
С. А. Кряжев, руководитель проектов, Sergey.Kryazhev@norbit.ru,
ООО НОРБИТ

Комплексная корпоративная система управления проектами в строительном бизнесе

Предложен комплексный подход к построению автоматизированных корпоративных систем управления проектами (АКСУП) для строительных предприятий на базе SAP ERP. Он включает новые методологические, технологические и организационные решения, максимально учитывающие особенности строительной отрасли. Определены особенности строительных проектов, основные категории проектов и проектные роли, построена схема информационных потоков, учитывающая отраслевую специфику. Предложена структура корпоративного стандарта управления проектами. Разработан функционал ИС, специфичный для строительных предприятий. Реализация предложенных решений в АКСУП реального строительного предприятия показала их высокую эффективность: снижение себестоимости выполнения проектов за счет оптимизации закупок материально-технических ресурсов, снижение затрат на складское хранение на предприятии. Также была заметно повышена эффективность управления субподрядными работами.

Ключевые слова: комплексная система управления проектами, строительная отрасль, финансовая структура предприятия, оптимизация закупок, структурный план проекта, SAP ERP

Введение

Строительная отрасль является одной из ключевых в российской экономике и одновременно одной из наиболее пострадавших в результате экономического кризиса. В данной ситуации повышение качества управления, сокращение непроизводительных затрат и сроков выполнения работ без ущерба для качества является в буквальном смысле вопросом выживания.

Участники строительного рынка (генеральные подрядчики, генеральные проектировщики, подрядчики) — это проектно-ориентированные компании, работающие по договорам с внешними заказчиками. Автоматизированные системы управления проектами (УП) на этих предприятиях существенно повышают эффективность их деятельности и усиливают конкурентные позиции благодаря сокращению простоев и сроков строительства, снижению себестоимости работ благодаря оптимальной организации материально-технического обеспечения (МТО), рациональному использованию ресурсов, жесткому контролю деятельности внешних подрядчиков.

По данным *Project Management Institute (PMI)*, США, большинство специалистов в области УП и строительных компаний считают, что при использовании автоматизированных систем УП прирост эффективности составляет порядка 20 % (по сравнению с компаниями, не имеющими таких систем) [1]. В России подобные исследования не проводили. Однако есть много неудачных ИТ-проектов, где подобные результаты не были достигнуты.

По мнению авторов, существуют две основные причины неудач при создании автоматизированных корпоративных систем УП (АКСУП) в строительстве.

1. Данная бизнес-задача не решается только средствами информационных технологий. Внедрение информационной системы (ИС) только тогда бывает успешным, когда сопровождается реорганизацией бизнес-процессов предприятия и адаптацией общей методологии УП и управленческого учета в проектной деятельности к специфике отрасли и возможностям внедряемой ИС.

2. Сегодняшний низкий уровень автоматизации УП в строительных компаниях определяется большим числом и разнообразием их бизнес-процессов. Для каждой отдельной задачи имеются свои варианты ее автоматизации, поэтому компания быстро "обрастает" разным программным обеспечением (ПО) для отдельных функциональных задач. Одни и те же данные вводятся в разные ИС и электронные таблицы, не связанные друг с другом. В результате возникают значительные непродуктивные трудозатраты и финансовые потери [2]. Поэтому актуален именно комплексный подход к автоматизации УП на строительных предприятиях, максимально адаптированный к специфике отрасли. Только он может обеспечить эффективное использование современных информационных технологий в управлении строительными предприятиями.

В настоящей работе рассмотрены некоторые специальные вопросы разработки комплексных АКСУП для строительных предприятий с контрастным портфелем проектов и практической реализации подобных систем (на примере предприя-

тия, выполняющего проектирование и строительство инженерных систем зданий и выступающего в роли подрядчика и промежуточного генерального подрядчика в строительных проектах).

1. Разработка методологического обеспечения АКСУП

Методология — это система практик, методов, процедур и правил для определенной сферы деятельности. Основу для разработки корпоративной методологии УП составляют международные, национальные и отраслевые стандарты УП. Они представляют собой сборники рекомендуемых лучших практик, однако их положения всегда требуют детализации и адаптации к особенностям проектов в конкретной отрасли. Существенные особенности строительных проектов, которые необходимо учесть при создании АКСУП для строительных предприятий, следующие:

- доля материальных затрат в себестоимости проектов более 50 %;
- очень большая номенклатура материалов и оборудования при наличии ряда альтернативных коммерческих наименований и единиц измерения;
- применение в проектно-сметной документации видов работ, которые отличаются от видов работ, используемых руководителями проектов;
- частая корректировка планов проектов, требующая перепланирования обеспечения ресурсами и согласования процессов УП и МТО;
- необходимость согласования работ большого числа субподрядчиков;
- наличие внутренних субподрядчиков — внутренних подразделений предприятия или юридических лиц, входящих в ту же группу компаний, что и заказчик, и применение трансфертного ценообразования в расчетах с такими субподрядчиками.

Методы, процедуры и процессы УП, разработанные при создании методологического обеспечения АКСУП с учетом перечисленных выше особенностей, есть основа для формирования функциональных требований к ИС и обоснования выбора ее технологической платформы.

В настоящей работе для конкретного строительного предприятия были решены следующие общие задачи разработки методологического обеспечения корпоративной системы УП.

1. *Спроектирована новая финансовая структура предприятия*, позволяющая определять финансовый результат деятельности департаментов, участвующих в проектах, и использовать трансфертное ценообразование при выполнении работ внутренними субподрядчиками.

2. *Определены основные категории проектов и разработана их статусная схема*. Классифицированы основные категории контрактных проектов в зависимости от степени их сложности, длитель-

ности и состава работ. Введена отдельная категория — административные проекты, позволяющая учесть косвенные затраты как департаментов, так и предприятия в целом. Хотя эта категория не соответствует традиционным критериям проектной деятельности (уникальность, конечность во времени, возможность сетевого планирования и т. п.), однако она упрощает организацию учета и формирование отчетности по компании, поэтому было решено использовать сквозной аналитический разрез — "проект".

3. *Определены основные проектные роли*, описаны их функции, полномочия и ответственность (руководитель проекта, куратор проекта, начальник производства, инженер МТО, администратор проекта и т.д.).

4. *Для новой финансовой структуры разработана методология бюджетирования* проектной деятельности, позволяющая применить трансфертное ценообразование.

5. *Определены маршруты согласования* бюджетов проектов, заказов на закупку товаров, работ, услуг, заявок на платеж в соответствии с выделенными ролями участников проектной деятельности.

6. *Спроектированы бизнес-процессы УП* с учетом специфики выделенных категорий проектов и определенных ролями участников.

Разработанные принципы УП и способы их применения для конкретных процессов должны быть закреплены во внутренних нормативных документах предприятия — в корпоративном стандарте УП, что обеспечивает единство реализации управленческих функций как на предприятии в целом, так и в его структурных подразделениях. Традиционно корпоративный стандарт УП включает глоссарий, описание ролей участников и основных процессов управления и шаблоны управленческих документов.

Предложена и реализована трехуровневая иерархическая система внутренних документов, составляющих корпоративный стандарт УП. 1-й уровень — это документ с описанием понятийного аппарата, целей и политики предприятия в области УП. 2-й уровень — методики реализации отдельных политик и регламенты бизнес-процессов. 3-й уровень образуют рабочие инструкции для отдельных исполнителей. Шаблоны первичных документов, используемых в УП, включены в корпоративный стандарт как приложения к методикам и регламентам бизнес-процессов.

В работе определены основные функциональные требования к автоматизированной АКСУП (см. таблицу).

2. Обоснование выбора технологической платформы АКСУП

Программно-техническое обеспечение АКСУП — это совокупность программных средств, поддерживающих процессы управления, и соответствующую

Функциональные требования к АКСУП

Функциональная область	Функциональные требования
Коды и статусы проектов	<ul style="list-style-type: none"> ● Ведение кодировки проектов согласно принятой на предприятии категоризацией проектов; ● поддержка пользовательской статусной схемы проектов
Календарное планирование	<ul style="list-style-type: none"> ● Разработка иерархической структуры работ; ● структурная декомпозиция работ до уровня отдельных операций и установление их взаимосвязей; ● визуализация календарных планов в виде диаграммы Ганта
Ресурсное планирование	<ul style="list-style-type: none"> ● Планирование потребности в МТР и их распределение по работам проекта на основе смет и спецификаций материалов; ● назначение исполнителей на работы, планирование стоимости и объемов работ, выполняемых сторонними и собственными силами; ● планирование объемов и сроков поставки МТР с учетом текущего плана проекта и имеющегося запаса на складах
Бюджетное планирование	<ul style="list-style-type: none"> ● Планирование бюджетов проекта в разрезе элементов структуры проекта, периодов времени, затрат и статей движения финансов; ● согласование и утверждение бюджетов проектов по заранее определенным и настроенным маршрутам; ● обеспечение возможности корректировки бюджетов; ● ведение версий бюджетов и возможность их сравнения; ● формирование бюджетов департаментов и компании на основе бюджетов контрактных и административных проектов
Учет фактических материальных потоков	<ul style="list-style-type: none"> ● Ведение справочника номенклатуры МТР с использованием альтернативных наименований и единиц измерения; ● выбор поставщиков с учетом цен, условий и сроков поставки; ● согласование заказов поставщикам МТР по заранее определенным и настроенным маршрутам; ● ведение учета складских операций (поступления, перемещения, выдачи) материалов и оборудования
Учет выполнения работ	<ul style="list-style-type: none"> ● Формирование нарядов на выполнение работ; ● отражение фактов выполнения работ и вовлечения в производство МТР на основании закрытия нарядов; ● ведение учета работ субподрядчиков на основании актов КС-2; ● ведение учета сданных заказчиком работ на основании актов КС-2; ● ведение учета прочих проектных расходов; ● ведение учета договоров с контрагентами и связанных с ними иных документов (дополнительных соглашений, счетов, актов)
Учет движения денежных средств	<ul style="list-style-type: none"> ● Формирование заявок на оплату; ● согласование заявок на оплату по заранее определенным и предварительно настроенным маршрутам; ● учет фактического движения денежных средств по проекту
Контроль выполнения проектов	<ul style="list-style-type: none"> ● Формирование отчетов: <ul style="list-style-type: none"> ○ о выполнении работ и расчетов за них с заказчиком и субподрядчиками, в т.ч. в сравнении с планом; ○ план-факт исполнения бюджетов проекта; ○ о наличии и движении МТР, в том числе в сравнении с планом и проектными спецификациями; ○ о статусах проектов и договоров; ○ по показателям освоенного объема; ● возможность формирования <i>drill-down</i>-аналитики

шей технической инфраструктуры. Ядро технологической составляющей образует автоматизированная информационная система управления проектами (АИС УП). Однако управление проектами — не единственная область, требующая автоматизации в управлении строительными предприятиями. Помимо нее можно выделить такие функциональные области, как сметное планирование, проектирование, управление закупками, бюджетирование, бухгалтерский управленческий и бухгалтерский финансовый учет, оперативное управление платежами (казначейство), что определяет следующие интеграционные требования к построению АКСУП:

- загрузка локальных смет из сметных ИС;
- выгрузка в ИС казначейства согласованных заявок на платежи и загрузка данных о фактических платежах;

- интеграция с системой бухгалтерского (финансового) учета в части выгрузки данных о поступлении и движении материально-технических ресурсов (МТР), выполнении и закупке работ, услуг;
- загрузка проектных спецификаций из систем проектирования.

Важно и то, что в строительной деятельности используются специфические унифицированные формы первичной учетной документации (КС-2, КС-3, КС-6 и др.) и сметные нормативы (государственные, отраслевые, внутрифирменные), которые система также должна поддерживать.

Возможны два подхода к выбору технологической платформы при автоматизации процессов УП: применение специализированного ПО или соответствующих модулей корпоративной ERP-системы¹.

Оптимальное решение зависит от характера выполняемых проектов, "информационного ландшафта" предприятия и его финансовых возможностей. Первый подход позволяет решить задачу автоматизации УП дешевле и быстрее, но не обеспечивает универсальности. Второй подход более затратен, однако открывает возможности создания комплексной ИС управления строительным предприятием с единой информационной средой.

На рынке РФ представлено достаточно много специализированных ИС для автоматизации процессов УП и разработанных на их базе специализированных решений для строительной отрасли. Это решения на базе Microsoft Project [3], Oracle Primavera [4], Spider Project [5] и др. Однако интеграция программных средств УП с другими ИС предприятия — процесс трудоемкий, длительный и не обеспечивающий получения всей необходимой информации из других модулей ИС. Напротив, ERP-система предприятия содержит всю информацию о его деятельности и включает в себя специализированный модуль УП. Этот модуль получает из общей базы данных информацию по конкретному проекту или группе проектов и решает такие стандартные задачи УП, как расчет сроков, требуемых ресурсов, затрат проекта.

В настоящее время для строительной отрасли существуют комплексные решения на базе систем ERP-класса, например, Отраслевое сертифицированное решение ЛАНИТ на базе SAP ERP [6]; ИС: Предприятие 8. ERP Управление строительной организацией [7]. Анализ показал, что для крупных строительных предприятий наиболее оптимальный выбор — это создание АКСУП на базе высокоразвитой ИТ-системы SAP ERP. Такое решение, реализующее второй подход, обеспечивает поддержку всех требуемых бизнес-функций и объединение подсистем управления проектами, материальными потоками, документации, управленческого учета, реализации, бюджетирования и нормативно-справочной информации (НСИ) в единый операционный контур. Оно практически устраняет проблемы многократного ввода одной и той же информации и ее обработки в различных ИС и/или Excel-файлах.

Бизнес-потребности отрасли, определяемые ее спецификой и обосновывающие данное решение, следующие.

1. В строительных проектах очень важны точное планирование и поставки материально-технических ресурсов на объекты точно в срок (во избежание простоев или переполнения объектовых складов). В них необходим контроль закупок и движения МТР вплоть до момента их вовлечения в производство. При этом требуются поддержка

множественности коммерческих наименований и единиц измерения МТР, точное соответствие позиций закупочных и проектных спецификаций и смет и формирование соответствующих отчетов.

2. Необходим тщательный контроль выполнения работ внешними и внутренними субподрядчиками. Инструментом такого контроля являются выдача и закрытие нарядов на выполнение работ различной степени детализации (вплоть до единичных расценок).

3. Для проектов должны быть сформированы два основных бюджета: бюджет доходов и расходов (БДР) и бюджет движения денежных средств (БДДС). Для них должны выполняться согласование и утверждение по настроенным в системе маршрутам и последующий контроль исполнения. Частое перепланирование бюджетов требует организации их версионности и сравнения фактических данных с разными версиями бюджетов, а также версий между собой.

Это еще раз подтверждает, что специализированные ИС управления проектами не в полной мере соответствуют данным бизнес-потребностям. Использование же ERP-систем с их мощным стандартным функционалом позволяет выполнить необходимые доработки, когда какой-либо нужный функционал (интерфейсы, отчеты) отсутствует в базовом решении (см. ниже).

Реализация АКСУП на базе SAP ERP имеет и определенные недостатки.

1. Небольшое число пользовательских отчетов не всегда удобным для пользователей форматом (специализированные ИС обычно имеют более широкий спектр преднастроенных отчетов). На первом этапе создания АКСУП проблему решает оперативная разработка наиболее востребованных форм отчетов, а в дальнейшем для хранения данных и построения отчетов можно использовать ПО SAP BW, BO.

2. Более высокая трудоемкость создания в SAP иерархической структуры работ (ИСР) проекта и календарного плана работ. По данным авторов, время создания структурного плана проекта (СПП) в SAP в несколько раз больше времени создания аналогичной структуры в Microsoft Project (это ПО взято для сравнения как наиболее распространенное в РФ). СПП — это модель проекта, которая преобразует его задачи в иерархию и служит функциональной основой для дальнейших шагов планирования проекта и для управления проектом [8]. Для решения этой проблемы целесообразно разработать и использовать при планировании основных категорий проектов шаблоны СПП.

3. Значительные стоимость и срок реализации SAP-проекта, в том числе вследствие необходимых доработок системы. В нашем случае проект длился более полутора лет.

Однако несомненное достоинство АКСУП на базе SAP ERP — это возможность ее интеграции с та-

¹ ERP (*Enterprise Resource Planning* — планирование ресурсов предприятия) — автоматизированная система управления ресурсами компании, охватывающая практически все бизнес-процессы предприятия.

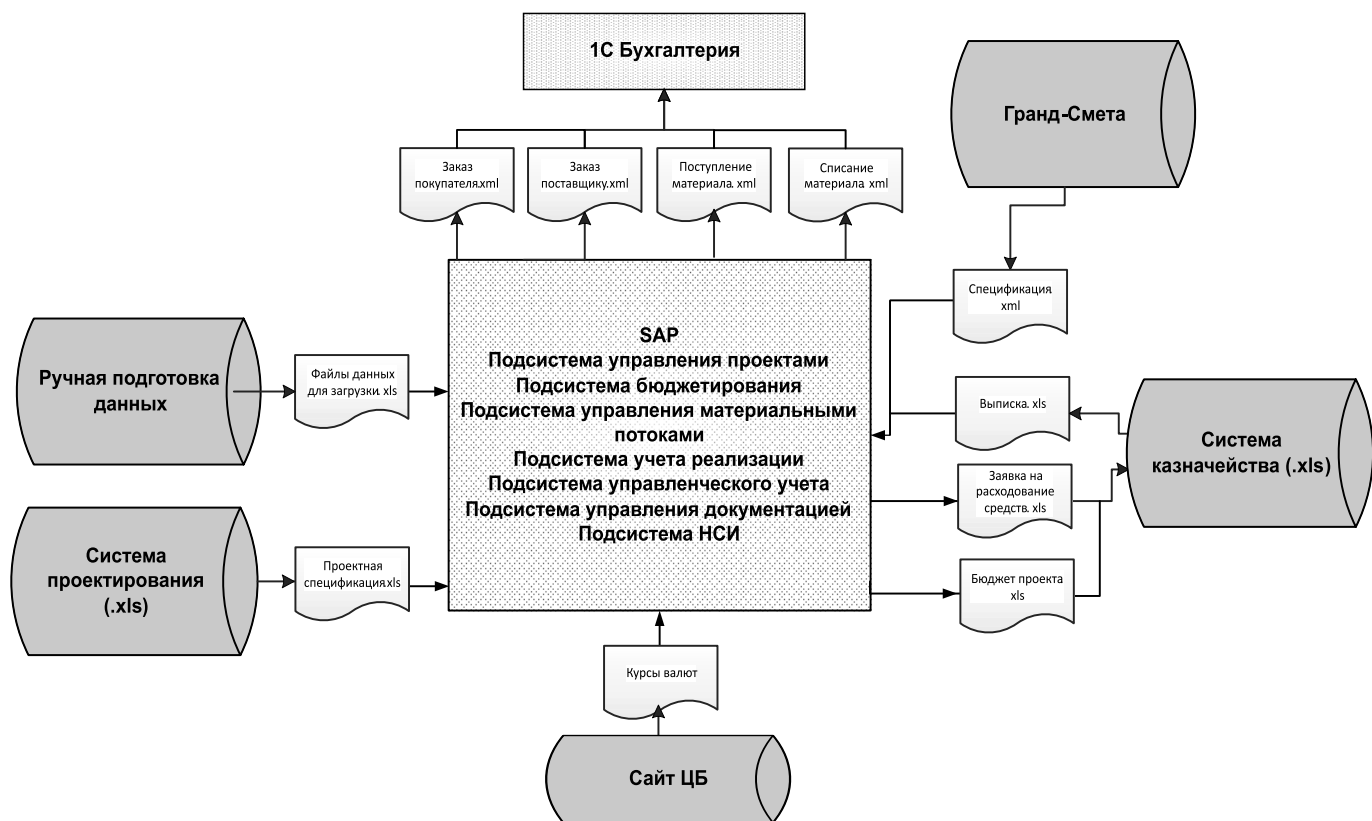


Рис. 1. Схема информационного взаимодействия

кими специализированными ИС, как системы управления проектами, сметные программы, системы хранения проектной документации, бюджетирования, бухгалтерского учета, геоинформационные системы (ГИС). На основании изложенного выше в работе была реализована схема информационного взаимодействия с внешними системами (рис. 1).

Специфическая функциональность УП реализована на базе модуля SAP ERP Управление проектами (PS). Эффективность модуля достигнута за счет его интеграции с другими ИС-модулями: Финансы (FI), Управленческий учет (CO), Управление материальными потоками (MM), Сбыт (SD). Ниже подробно рассмотрены наиболее значимые результаты разработки АКСУП строительной организации на базе SAP ERP и оригинальные доработки стандартного функционала в отдельных функциональных областях.

Разработка структурного плана и планирование работ проекта

В зависимости от специфики работ, предусмотренных в проекте, декомпозиция при разработке его иерархического СПП может выполняться на базе фаз жизненного цикла, основных результатов, функциональных разделов, подпроектов. В нашей задаче для строительных проектов был предложен типовой четырехуровневый СПП. В основу декомпозиции было положено разделение объекта на

инженерные системы, создаваемые в ходе проекта, а именно:

- уровень 1 — Объект (наименование объекта строительства);
- уровень 2 — Система (наименование инженерной системы);
- уровень 3 — Этап или Фаза работ;
- уровень 4 — Тип работ: проектно-изыскательские (ПИР), строительно-монтажные (СМР), пусконаладочные (ПНР).

Для работ по мобилизации объекта (доставка строительной техники, устройство стройгородка и т. п.) и работ по ведению договорных отношений с заказчиком в СПП были предложены элементы "Мобилизация" и "Договорная работа". Реализация такой структуры в SAP ERP показана на рис. 2 (см. четвертую сторону обложки). Треугольниками обозначены иерархические уровни СПП, прямоугольными отрезками — операции сетевого графика.

СПП детализируют созданием сетевого графика проекта. Операции сетевого графика, непосредственно отображающие работы в проекте (на рис. 2 — зеленые отрезки), детализируют элементы СПП нижнего иерархического уровня. На базе сформированного перечня операций (работ) в дальнейшем планируются потребности в МТР для этих работ и выдаются рабочие наряды. В сетевом графике для каждой операции нужно определить срок и/или длительность, связь с другими операциями графика.

ка, плановый объем работ. Сроки операций прямо влияют на сроки потребностей в МТР, отнесенных к этим операциям. По умолчанию, сроки потребностей в МТР задаются в системе по самым ранним срокам начала операции, однако в каждом случае предусмотрена возможность ручной настройки этого планирования.

В SAP ERP предусмотрена дальнейшая детализация отдельных операций сетевого графика на основе так называемого каталога услуг, в нашем случае этот каталог услуг реализован на базе мастер-сметы, содержащей сметные расценки. Их начальная загрузка осуществляется из сметной программы. Если расчеты с субподрядчиком по условиям договора "привязаны" к натуральным показателям и единичным расценкам, то целесообразно детализировать операции сетевого графика до уровня сметных работ.

После управленческого решения о выборе исполнителя конкретной работы этот выбор отображается в системе присвоением операции сетевого графика карточки субподрядного договора. Разработана транзакция, позволяющая определять стоимость операций сетевого графика из карточки договора (рис. 3, см. четвертую сторону обложки). В транзакции проверяется, чтобы сумма стоимостей всех операций, выполняемых исполнителем, равнялась сумме договора. Это решение устраняет риск превышения договорной стоимости вследствие назначения исполнителя на работы, не предусмотренные субподрядным договором.

Планирование потребности в материально-технических ресурсах

Планирование МТР для работ, представленных операциями сетевого графика, реализовано с помощью разработки в SAP ERP закупочной спецификации материалов (СМ) и сопоставлением ее позиций операциям сетевого графика путем их выбора из спецификации. Чтобы избежать дублирования основных записей материала (ОЗМ) в системе при наличии разных коммерческих наименований материалов, формирование СМ возложено на сотрудника группы НСИ товарно-материальных ценностей (ТМЦ). Ниже изложена организационная схема формирования СМ.

1. Инженер технического обеспечения проекта заполняет закупочную СМ по утвержденному Excel-шаблону. Шаблон содержит всю необходимую для идентификации материала информацию (производитель, артикул, ГОСТ/ТУ, базовая единица измерения, единица измерения у поставщика, коэффициент пересчета и т. д.). При этом каждой позиции СМ ставится в соответствие позиция проектной спецификации.

2. Специалист НСИ ТМЦ создает СМ в SAP ERP, выбирая соответствующие ОЗМ в справочнике системы, а при необходимости создает новые

ОЗМ. Он же связывает позицию созданной СМ с соответствующей позицией проектной спецификации (рис. 4, см. четвертую сторону обложки). Совокупность всех СМ, созданных в SAP ERP, образует мастер-спецификацию проекта.

3. С помощью разработанной транзакции администратор проекта в системе SAP ERP ставит в соответствие элементам СМ операции сетевого графика, для которых предназначены распределяемые материалы. Для всех "привязанных" к данной операции материалов при этом автоматически формируется заявка на закупку, а сроки ее выполнения согласуются со сроками выполнения этой операции.

Для сопоставления мастер-спецификации проекта с проектной спецификацией разработан специальный отчет. В отличие от СМ, где позиции — это компоненты материала с соответствующими ОЗМ, проектная спецификация построена в виде текстовых строк. Это позволило избежать включения лишних записей в справочник материалов. Загрузка проектной спецификации из системы проектирования выполняется в Excel-формате (см. рис. 1).

Перечисленные разработки позволили успешно решить такую серьезную проблему, как множественность наименований материалов и оборудования. Учет ТМЦ ведется во внутрифирменных наименованиях (используются в спецификации материала, нарядах, складских документах, отчетах и т. п.); для каждой позиции ТМЦ из СМ заложена возможность визуального контроля ее проектного наименования, а в закупочных документах предусмотрено использование коммерческих наименований поставщиков МТР.

Контроль выполнения работ исполнителями

В АКСУП с помощью Z-разработки соответствующих транзакций реализованы такие важные инструменты оперативного контроля выполнения работ исполнителями, как выдача и закрытие нарядов на выполнение работ и отчет "Разделительная ведомость". Для каждой детализированной с помощью каталога услуг операции сетевого графика наряд выдается по детализированным работам, для недетализированной операции — по операции сетевого графика. При получении со склада материалов предусмотрена их выписка на отдельном листе наряда (листе материалов), исключая выдачу сверх потребности.

Разработанный отчет "Разделительная ведомость" по каждому исполнителю отображает: договорную стоимость работ в детализации по операциям сетевого графика; стоимостные объемы работ, выданные в нарядах, принятые по нарядам и актам КС-2, оставшиеся к выполнению.

Эти инструменты контроля позволяют отслеживать выполнение проектов практически в режиме *on-line* с более глубокой детализацией, нежели ак-

ты приемки выполненных работ (КС-2) и справки об их стоимости и затратах (КС-3).

Другие оригинальные доработки включают паспорт проекта, мониторы согласования паспортов проектов, платежей, обязательств, графики платежей, различные отчеты в принятых на предприятии форматах и т. д.

3. Организационное обеспечение АКСУП

Разработанное методологическое и технологическое обеспечение АКСУП для эффективного функционирования такой системы требуют соответствующего организационного обеспечения, включающего в себя:

- организационную структуру УП и предприятия в целом, соответствующую выполненным изменениям бизнес-процессов;
- организацию взаимодействия между подразделениями и сотрудниками в соответствии с разработанными регламентами и инструкциями;
- систему мотивации персонала;
- организацию обучения и передачи накопленных знаний.

При создании комплексной АКСУП практически всегда необходимо вносить изменения в организационную структуру предприятия. В частности, следует создать специализированную службу, выполняющую централизованное административное, методологическое и информационное сопровождение процессов УП. Это может быть офис управления проектами, организация которого на предприятии представляет собой применение лучших практик в УП [9–11]. В рассматриваемом случае на предприятии был создан отдел, включающий группу ведения НСИ и группу функциональной поддержки SAP, сотрудники которой выполняют поддержку и обучение персонала, разработку и актуализацию документов, составляющих корпоративный стандарт УП.

Заключение

Создание комплексных АКСУП на строительных предприятиях обеспечивает им значительные

экономические преимущества. В работе предложен подход к разработке таких систем на базе SAP ERP, дополненный новыми методологическими, технологическими, программными и организационными решениями, максимально учитывающими специфику строительной отрасли. Такой подход к построению АКСУП предприятия предусматривает не только автоматизацию строительных бизнес-процессов, но и организационную поддержку бизнеса, а сама система образует мощный фундамент перспективного развития предприятия.

Комплексная АКСУП, созданная на реальном строительном предприятии на основе данного подхода, позволила уменьшить себестоимость выполнения проектов за счет оптимизации закупок МТР и повысить эффективность работы внутренних субподрядчиков. Также повысились качество оперативного управленческого учета и достоверность отчетности и сократилось время ее формирования, что обеспечило повышение качества управления проектной деятельностью предприятия в целом.

Список литературы

1. **Стутко Н.** Эффективность использования информационной системы управления проектами (ИСУП). URL: <http://projectsmart.ru/solutions/construction/>
2. **Дубинин В., Пришвин А.** Обзор ИТ-решений для строительной отрасли. URL: <http://12news.ru/doc1418.html>
3. **Система** управления строительными проектами на базе Microsoft Project 2010 и 2013. URL: <http://projectsmart.ru/solutions/construction/>
4. **Автоматизация** бизнес-процессов при промышленном и капитальном строительстве (Oracle Primavera). URL: <http://www.april-it.by/oracle-primavera/>
5. **Spider Project Professional** — система управления строительными проектами — программный комплекс. URL: <http://tprojectofis.tiu.ru/p1683488-spider-project-professional.html>
6. **Отраслевое** решение ЛАНИТ на базе SAP ERP. URL: http://www.lanit-consulting.ru/_files/texts/92/SAP_building.pdf
7. **Решения** для управления строительными организациями на базе 1С. URL: <http://solutions.1c.ru/stroy>
8. **SAP Help Portal.** URL: <http://help.sap.com>
9. **Аньшин В. М., Ильина О. Н.** Исследование методологии оценки и анализ зрелости управления портфелем проектов в российских компаниях. М.: ИНФРА-М, 2010.
10. **Кендалл И., Роллинз К.** Современные методы управления портфелями проектов и офис управления проектами: максимизация ROI. М.: ЗАО "ПМСОФТ", 2004. 576 с.
11. **Керцнер Г.** Стратегическое управление в компании. Модель зрелого управления проектами. М.: ДМК Пресс, 2010.

E. V. Kuznetsova, PhD, Assistant Professor, EV.Kuznetsova@hse.ru,

T. K. Kravchenko, D.Sc., Professor, tkravchenko@hse.ru,

National Research University Higher School of Economics,

S. A. Kryazhev, Project Manager, Sergey.Kryazhev@norbit.ru, NORBIT Ltd

Corporate Integrated Automated Project Management System for the Construction Business

The article presents the integrated approach to corporate automated project management systems (CAPMS) design for the construction companies. The approach includes a set of new methodological, technological and organizational solutions based on SAP ERP. The specific features of construction projects, the main project categories, the main project roles were defined and the scheme of information flows accounting the features of construction industry was created. The corporate project management standard framework is proposed. The IT functional accounting the construction companies features was designed. The implementation of proposed decisions in CAPMS for real construction company has shown their high efficiency. It includes the project implementation cost decrease due to materials and equipment purchase optimization and decrease of the warehouse storage costs. Also the system allowed to appreciably increase the internal subcontractors control efficiency.

Keywords: an integrated project management system, the construction industry; company financial structure; the purchase optimization, project structure plan, SAP ERP

References

1. **Stutko N.** *Jeftektivnost' ispol'zovanija informacionnoj sistemy upravlenija proektami (ISUP)*, URL: <http://projectsmart.ru/solutions/construction/> (Stutko, N. Efficiency project management information system (PMIS). URL: <http://projectsmart.ru/solutions/construction/>)
2. **Dubinin V., Prishvin A.** *Obzor IT-reshenij dlja stroitel'noj otrasli*. URL: <http://12news.ru/doc1418.html>. (Dubinin V., Prishvin A. Overview of IT solutions for the construction industry. URL: <http://12news.ru/doc1418.html>)
3. **Sistema upravlenija stroitel'nymi proektami na baze Microsoft Project 2010 i 2013**. URL: <http://projectsmart.ru/solutions/construction/> (The construction project management system based on Microsoft Project 2010 and 2013. URL: <http://projectsmart.ru/solutions/construction/>)
4. **Avtomatizacija biznes-processov pri promyshlennom i kapital'nom stroitel'stve (Oracle Primavera)**. URL: <http://www.april-it.by/oracle-primavera/> (Business process automation in industrial and capital construction (Oracle Primavera). URL: <http://www.april-it.by/oracle-primavera/>)
5. **Spider Project Professional — sistema upravlenija stroitel'nymi proektami — programmnyj kompleks**, URL: <http://projectofis.tiu.ru/p1683488-spider-project-professional.html>. (Spider Project Professional — construction project management system — Software complex, URL: <http://projectofis.tiu.ru/p1683488-spider-project-professional.html>)
6. **Otraslevoe reshenie LANIT na baze SAP ERP**, URL: http://www.lanit-consulting.ru/_files/texts/92/SAP_building.pdf. (The branch decision LANIT based on SAP ERP, URL: http://www.lanit-consulting.ru/_files/texts/92/SAP_building.pdf)
7. **Reshenija dlja upravlenija stroitel'nymi organizacijami na baze 1S**, URL: <http://solutions.1c.ru/stroy>. (Solutions for construction companies on the basis of 1C, URL: <http://solutions.1c.ru/stroy>)
8. **SAP Help Portal**, URL: <http://help.sap.com>. (SAP Help Portal, URL: <http://help.sap.com>)
9. **An'shin V. M., Il'ina O. N.**, *Issledovanie metodologii ocenki i analiz zrelosti upravlenija portfelem proektov v rossijskih kompanijah*, Moscow, INFRA-M, 2010. (Anshin V. M., Il'ina O. N. Research methodology for assessing and analyzing the maturity of project portfolio management in Russian companies, Moscow, INFRA-M, 2010).
10. **Kendall I., Rollinz K.**, *Sovremennye metody upravlenija portfeljami proektov i ofis upravlenija proektami: maksimizacija ROI*, Moscow, ZAO "PMSOFT", 2004, 576 p. (Kendall I. Rollins K. Modern methods of project portfolio management and project management office: the maximization of ROI, Moscow, JSC "PMSOFT", 2004, 576 p.)
11. **Kercner G.** *Strategicheskoe upravlenie v kompanii. Model' zrelogo upravlenija proektami*, Moscow, DMK Press, 2010. (Kerzner G., Strategic management of the company. Model mature project management, Moscow, DMK Press, 2010).



С 16 по 18 ноября 2016 г.
в г. Тула на базе Тульского ГУ состоится
Международная научно-техническая конференция
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
(Интеллект 2016)



ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ, ПЛАНИРУЕМЫЕ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- Интеллектуальные системы поддержки принятия решений.
- Управление параллельными и распределенными информационными процессами.
- Методы цифровой обработки сигналов и изображений.
- Системы классификации и распознавания образов.
- Когнитивные технологии.
- Роевые технологии.

Подробную информацию о конференции см. на сайте:
<http://tsu.tula.ru/science/conferences/>

УДК 378.1, 004.7

Л. М. Груздева, канд. техн. наук, доц., e-mail: docentglm@gmail.com,
С. Л. Лобачев, д-р техн. наук, проф., зав. каф., e-mail: lsl7@mail.ru,
Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II

Набор на дистанционное обучение в РУНЕТ: предпосылки, опыт и анализ

На основе длительного периода сбора статистических данных предложены математические модели прогнозирования востребованности образовательных программ вуза, реализуемых с использованием дистанционных образовательных технологий. Определена категория вузов, к которой применимы разработанные модели. Проведена верификация моделей и даны рекомендации по их использованию.

Ключевые слова: дистанционное образование (ДО), дистанционные образовательные технологии, нормативная база ДО, востребованность ДО, РУНЕТ, прогноз набора абитуриентов, посещаемость сайта

Введение

История дистанционного образования (ДО) в РФ насчитывает около 20 лет, и на протяжении всего этого периода представители различных вузов регулярно высказывали озабоченность состоянием нормативной базы на государственном уровне [1, 2]. Отсутствие таких документов тормозило формирование и локальной нормативной базы учебных заведений в части использования дистанционного обучения.

В период 2012—2014 гг. произошло качественное изменение ситуации и в настоящее время в Российской Федерации применение электронного обучения (ЭО) и дистанционных образовательных технологий (ДОТ) в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, разрешено рядом нормативных правовых документов на всех уровнях образования и во всех формах обучения.

Решение проблем формирования нормативной базы на государственном и локальном уровнях вывело на первый план вопросы реализации ДО и как первый его этап — набор абитуриентов.

Анализ нормативной базы ДО

Выход документов, представленных в табл. 1, позволил на парламентских слушаниях Комитета Государственной Думы по образованию 19 мая 2014 г. первому заместителю председателя Комитета по образованию Государственной Думы Олегу Смолину сделать вывод о том, что формирование нормативной и правовой базы по данному направ-

лению в основном завершено и задача ближайшего времени — обобщить передовые практики работы учебных заведений и урегулировать процесс с локальными нормативными и правовыми актами.

За многочисленными работами по технологиям ДО [3, 4], обеспечению информационной безопасности систем ДО [5], формированию учебно-методического обеспечения ДО и его качеству вопрос организации набора абитуриентов с учетом специфики данной аудитории остался без особого внимания, хотя от успешности его решения зависит — будут ли востребованы все те наработки, которым уделяется основное внимание специалистами по ЭО и ДОТ.

Это вполне объяснимо, поскольку, как видно из табл. 1, нормативные документы, обеспечившие необходимую свободу внедрения ДОТ, появились относительно недавно, что не означает полного отсутствия работ по данному направлению [6].

Рассмотрение вопроса востребованности ДО в РУНЕТ предполагает проведение анализа аудитории самого РУНЕТ.

Анализ аудитории РУНЕТ

Согласно статистическим данным [7], в России пользователями Интернета являются 84 млн человек в возрасте от 16 лет и старше. Только за 2015 г. аудитория Интернета в России выросла почти на 4 млн человек и уровень охвата населения в возрасте от 16 лет и старше достиг 70,4 % (в 2014 — 67,5 %). Прирост Интернет-аудитории произошел за счет активного использования россиянами мобильных

Актуальная нормативная база ДО

№	Нормативный акт	Год	Содержание
1	Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации"	2012	При реализации образовательных программ с применением ЭО и ДОТ местом проведения образовательной деятельности является место нахождения организации, осуществляющей образовательную деятельность, или ее филиала независимо от места нахождения обучающихся. Разрешено применять ЭО и ДОТ как при текущей, так и при итоговой государственной аттестации, что прежде было запрещено
2	Положение о государственной аккредитации образовательной деятельности, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2013 г. № 1039 "О государственной аккредитации образовательной деятельности"	2013	Не предъявляет специальных аккредитационных показателей в отношении образовательных организаций, реализующих образовательные программы с применением ЭО и ДОТ
3	Приказ Минобрнауки России от 9 января 2014 г. № 2 "Об утверждении Порядка применения организациями, осуществляющими образовательную деятельность, электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ" (зарегистрирован Минюстом России 4 апреля 2014 г., регистрационный № 31823)	2014	Разрешает образовательным организациям применять ЭО и ДОТ
4	Приказ Минобрнауки России от 28 июля 2014 г. № 839 "Об утверждении Порядка приема на обучение по образовательным программам высшего образования — программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры на 2015/16 учебный год" (п. 83)	2014	Предусмотрена возможность проведения вступительных испытаний с использованием дистанционных технологий при условии идентификации поступающих при сдаче ими вступительных испытаний

устройств и увеличения доли пользователей среднего и старшего возраста. В течение последних четырех лет РУНЕТ в основном прирастает именно за счет пользователей в возрасте от 40 лет и старше.

35 лет — средний возраст аудитории Интернета в России. Заметное "взросление" онлайн-пользователей начало проявляться в последние два-три года. Интернет уже давно перестал быть только развлечением. В возрастной группе 46...60 лет пользуются Интернетом 57 %, а 30 % выходят в Сеть ежедневно (май 2015). Для сравнения, в Евросоюзе 40 % граждан даже в возрасте 65...74 лет регулярно пользуются Интернетом.

Классификация вузов по порядку организации работы приемной комиссии

В настоящее время широкую популярность среди вузов РФ приобрел набор через Интернет абитуриентов, желающих проходить обучение дистанционно. Это реализуется через специализированные сайты, где любой посетитель может получить информацию о порядке обучения и поступления и, при желании, сразу зарегистрироваться для поступления.

По порядку организации работы приемной комиссии в вузах их можно разделить на две категории:

1. Прием ведется один раз в год в летний период.
2. Прием ведется в течение всего года или несколько раз в год.

К первой категории, как правило, относятся государственные вузы с богатой историей и устоявшимися традициями. Ко второй — негосударственные вузы и небольшое число государственных, наце-

ленных на максимальное увеличение студентов, оплачивающих свое обучение самостоятельно.

Хотя разделение на категории проведено по организации работы приемной комиссии, есть и еще одна характерная черта для каждой из представленных категорий — это объем затрат на рекламу. Вузы первой категории полагаются на свой авторитет и известность, поэтому их затраты на рекламу в Интернет на порядок (а порой и на два порядка) ниже, чем расходы вузов второй категории.

Значительная разница в расходах на рекламу объясняется не только и не столько финансовыми возможностями вузов, сколько именно организацией работы приемной комиссии. Практика показывает, что абитуриент после регистрации на сайте готов ожидать поступления не более 3—4 месяцев, а при необходимости более длительного ожидания он находит другой вуз, поскольку не хочет терять времени. Именно поэтому затраты на рекламу в течение учебного года теряют смысл.

Представленные ниже материалы основаны на опыте организации набора абитуриентов на дистанционное обучение в государственный университет, относящийся к первой категории вузов.

Анализ посещаемости регистрационного сайта системы дистанционного образования (СДО) юридического института МИИТ

Если абстрагироваться от направлений подготовки специалистов и рассматривать только изменение востребованности и популярности конкретного профиля образования, предлагаемого университетом с использованием технологий ДО, то

подготовка может вестись по трем уровням образования (рис. 1) — высшему (ВО), среднему профессиональному (СПО) и дополнительному (ДПО). По каждому уровню образования был создан свой специализированный программный комплекс, который включает в себя регистрационную систему для набора абитуриентов (слушателей) и систему дистанционного обучения. Создание трех однотипных комплексов обусловлено принципиальными различиями в организации учебного процесса, администрированием различными подразделениями и спецификой проведения набора.

Поскольку в данной работе нас интересует набор на высшее образование, объектом анализа выбран программный комплекс для регистрации абитуриентов, желающих получить высшее образование (на рис. 1 он выделен штриховой линией).

Данный комплекс приступил к работе в мае 2012 г. и использовался в четырех приемных кампаниях. С начала его эксплуатации он был зарегистрирован в системе статистики Яндекс.Метрика, что позволило собрать разнообразную информацию о посещаемости данного сайта (<http://do.ui-miit.ru>) и группах посетителей (рис. 2—4).

Процентное соотношение мужчин и женщин, посетивших регистрационный сайт в период работы приемной комиссии первого набора 2012 г. и последнего — 2015 г., сильно не изменилось (рис. 2) и свидетельствует о том, что наибольшую заинтересованность в рассматриваемом Интернет-ресурсе проявляет женская половина общества. Эти результаты почти соответствуют данным, полученным около 10 лет назад на сайте Иркутского государственного университета [1], где мужская половина составляла менее 25 %.

За четыре года мониторинга регистрационного сайта возраст посещающего сайт контингента пре-

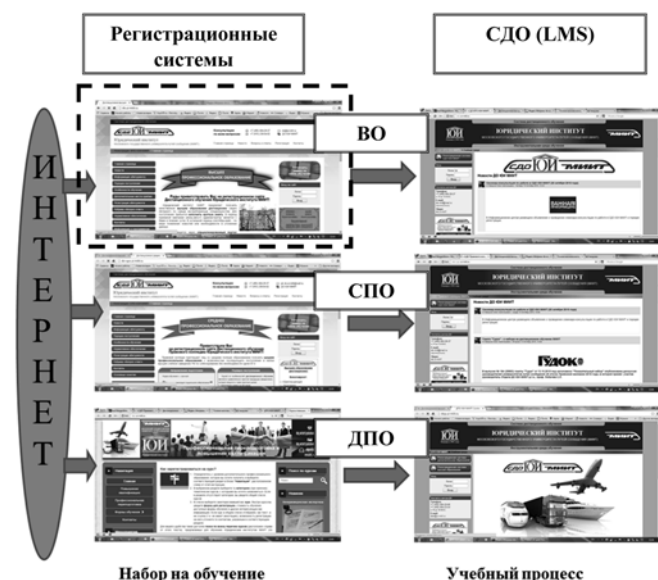


Рис. 1. Программный комплекс для регистрации абитуриентов юридического института МИИТ

терпел изменения (рис. 3, 4). С одной стороны, увеличилось относительное число посетителей младше 18 лет с 11,9 % на 16,6 %, с другой стороны, категория лиц 35...44 лет выросла на ≈ 8 %, снижение же на 10 % произошло в категории 25...34 года. Данная тенденция по распределению возрастных категорий наблюдается и в настоящее время.

Общая картина посещаемости регистрационного сайта (рис. 5) носит ярко выраженный циклический характер, что вполне объяснимо для вуза из категории 1. На данном рисунке выделены периоды приемных кампаний за четыре года наблюдений, и во всех отмеченных периодах наблюдается одна и та же зависимость "Всплеск-Спад-Всплеск", причем спад приходится на середину приемной кампании — примерно на первую половину августа.

Кроме того, достаточно четко прослеживается увеличение посещаемости регистрационного сайта

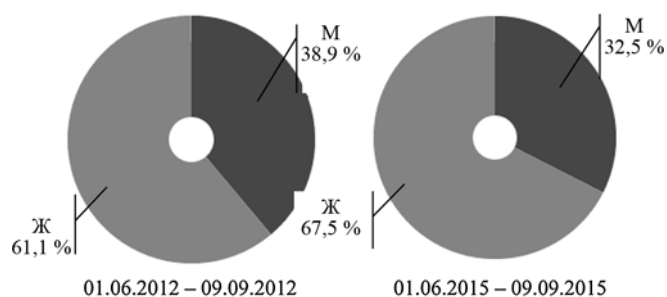


Рис. 2. Диаграмма "Пол"

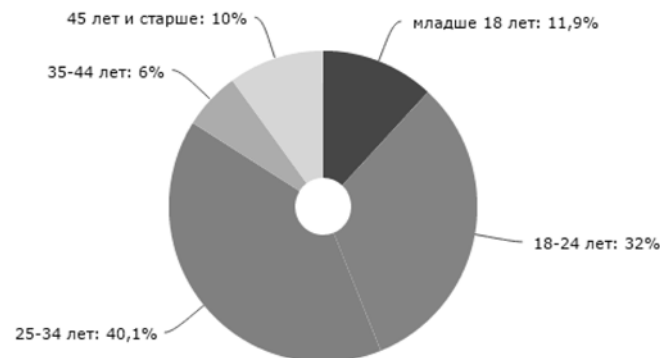


Рис. 3. Диаграмма "Возраст", приемная кампания 2012 г.

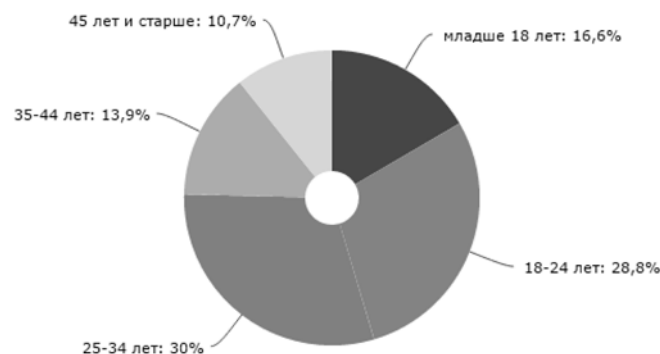


Рис. 4. Диаграмма "Возраст", приемная кампания 2015 г.

СДО с каждым последующим годом, что иллюстрирует рис. 6, где представлены данные за 2015/16 учебный год и за 2014/15 учебный год. Характерно, что формы обеих кривых посещаемости совершенно аналогичны, при том что кривая 2015/16 года заметно выше.

Рост посещаемости легко объясним увеличением известности и популярности системы ДО данного конкретного учебного заведения с течением времени. Существенно, что увеличение посещаемости регистрационного сайта СДО происходит не толь-

ко в периоды приемных кампаний (см. рис. 5), но и на протяжении всего года, между приемными кампаниями (рис. 6). Причина заключается в том, что с ежегодным ростом числа студентов расширяется аудитория из знакомых, а именно этот фактор входит в тройку наиболее значимых причин посещения данного конкретного сайта. Об этом свидетельствует on-line опрос, проводимый на регистрационном сайте в течение четырех лет (см. рис. 5) и в котором приняло участие около тысячи посетителей сайта. Тройка основных источников информации выглядит так: поисковые системы (33 %); портал вуза (18 %); знакомые (15 %).

Поскольку предметом анализа является вуз категории 1, то естественно, что рекламные материалы, выставки, СМИ и иные методы привлечения внимания абитуриентов к системе ДО в данном случае играли значительно меньшую роль в данном опросе, хотя они и присутствовали там.

В период между приемными кампаниями регистрационная система продолжает работать в целях накопления базы потенциальных абитуриентов на следующую приемную кампанию. У посетителей сайта есть возможность ознакомиться со следующей информацией:

- информация о вузе и факультете;
 - новости системы ДО;
 - особенности поступления и обучения в СДО;
 - нормативная база, регламентирующая набор и обучение с использованием ДТО;
 - контактные реквизиты подразделения ДО.
- Изучив представленную выше информацию, потенциальный абитуриент может:
- задать вопрос администраторам СДО;
 - ознакомиться с ранее заданными вопросами и ответами на них;
 - зарегистрироваться для поступления в период следующей приемной кампании.

С началом приемной кампании все зарегистрированные абитуриенты получают исчерпывающую информацию об организации и сроках приема, после чего они могут выбрать наиболее удобное для них время прибытия в вуз для поступления.

Учитывая минимальные затраты на рекламную кампанию в вузах категории 1, накопление базы желающих поступить в течение всего года является одной из немногих возможностей увеличить объемы приема.

Данные по приемной кампании 2012 г. на рис. 5 требуют особого комментария. Динамика посещения в этот период отличается от последующих приемных кампаний. Регистрационный сайт, как видно на рис. 5, приступил к работе в мае 2012 г. Учитывая категорию вуза, рекламная кампания в РУНЕТ практически не проводилась, а известность сайта была минимальной в силу незначительного времени его присутствия в РУНЕТ.

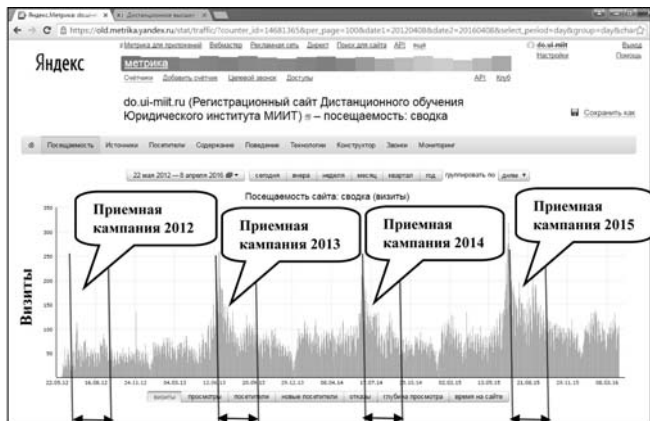


Рис. 5. Диаграмма посещаемости регистрационного сайта ДО юридического института МИИТ

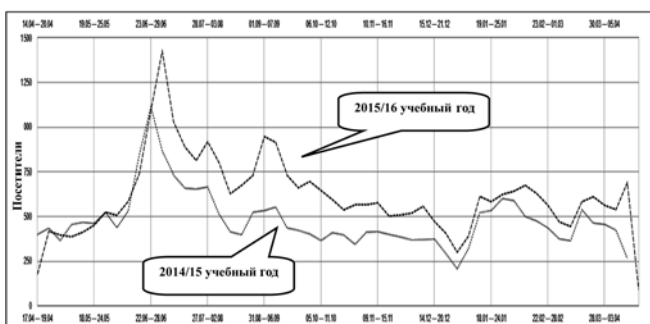


Рис. 6. Сопоставление числа посетителей сайта в 2014/15 и 2015/16 учебных годах

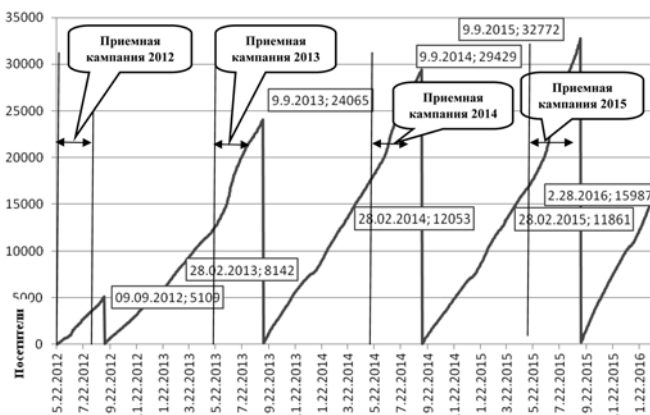


Рис. 7. Динамика посещений сайта <http://do.ui-miit.ru/>, период 22.05.2012—29.02.2016

Мониторинг процесса регистрации и поступления абитуриентов на протяжении нескольких лет позволяет обнаружить закономерности этих процессов в целях формирования прогноза по набору абитуриентов как общего числа, так и в разрезе специальностей и направлений подготовки.

Математические модели прогнозирования набора абитуриентов

Набор абитуриентов — это первый этап реализации ДО, для реализации которого желательно иметь прогноз притока студентов на предстоящий учебный год, без которого невозможно эффективно планировать ресурсы, в том числе нагрузку и подготовку профессорско-преподавательского состава, аппаратно-программное и учебно-методическое обеспечение.

Многолетний опыт работы по набору абитуриентов и реализации ДО позволил сформулировать и решить следующую задачу: на основе статистических данных по предыдущим периодам разработать систему прогнозирования набора абитуриентов на последующий период.

Для достижения поставленной цели проведены следующие мероприятия:

- анализ и систематизация данных по посещаемости регистрационного сайта СДО юридического института МИИТа за период 2012—2016 гг.;
- моделирование процесса посещения регистрационного сайта ДО, прогноз на 2016—2017 гг.;
- моделирование процесса регистраций в системе ДО, прогноз на 2016—2017 гг.;
- верификация модели на реальных периодах наблюдений;
- моделирование процесса зачислений абитуриентов, прогноз на 2016—2017 гг.

На рис. 7 представлен график динамики посещений пользователями РУНЕТ регистрационного сайта ДО в период с 22.05.2012 по 29.02.2016, построенный по данным системы Яндекс.Метрика. Обнуление счетчика посещений сайта ДО осуществляется по завершению приемной кампании (10 сентября), так как прием документов от абитуриентов в МИИТ завершается 9 сентября. Приемная комиссия начинает работу 1 июня, и с этого числа наблюдается повышение активности пользователей РУНЕТ.

Для моделирования процесса посещения сайта ДО, заданного таблицей статистических данных, полученных из системы Яндекс.Метрика, были построены аппроксимирующие функции (регрессии), приближенно описывающие данный процесс на основе метода наименьших квадратов. Задача аппроксимации была решена с помощью пакета MS Excel 2016. В табл. 2 представлены данные о числе посещений сайта за 2012—2015 гг., полученные с использованием уравнений линий тренда, а также составлен прогноз на 2016—2017 гг.

Модель с кубическим трендом характеризуется наибольшим значением достоверности аппроксимации ($R^2 = 1$), но полиномиальная линия тренда полезна для описания характеристик, имеющих несколько ярко выраженных экстремумов, а выбор степени полинома определяется числом экстремумов исследуемой характеристики.

По мнению авторов, для моделирования востребованности сайта наиболее применима модель с логарифмической линией тренда ($R^2 = 0,9611$), так как число посещений в начале наблюдений быстро возрастает от года к году, а затем должны постепенно стабилизироваться. Очевидно, что при самой идеальной организации приема и обучения в системе дистанционного обучения должен существовать некий предел численности студентов, выше которого вуз просто не в состоянии проводить как набор, так и обучение. Это относится как к технологическим характеристикам СДО, так и к организационно-административным возможностям учебного заведения.

На рис. 8 представлен график динамики регистраций на сайте в период с 22.05.2012 по 29.02.2016, построенный по данным системы ДО. Среднее значение процента регистраций на сайте от числа посещений составляет 1,18 %.

Таким образом, можно прогнозировать **462** регистрации на 9 сентября 2016 г. по модели с логарифмическим трендом числа посещений.

Анализ статистических данных показал, что число регистраций на сайте ДО за период работы

Таблица 2
Динамика посещений сайта <http://do.ui-miit.ru/> за 2012—2017 гг.

Год	Число посещений	Линейный тренд	Кубический тренд	Логарифмический тренд
2012	5109	9591	5109	6836
2013	24 065	18 426	24 064	20 801
2014	29 429	27 261	29 428	28 971
2015	32 772	36 097	32 770	34 767
2016	?	44 932	45 663	39 263
2017	?	53 767	79 676	42 936

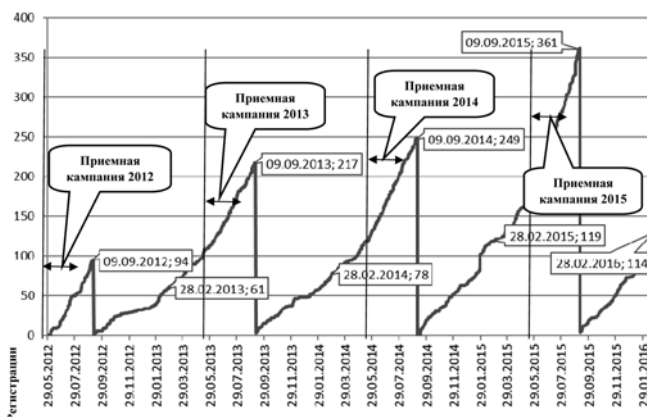


Рис. 8. Динамика регистраций на сайте <http://do.ui-miit.ru/>, период 29.05.2012—29.02.2016

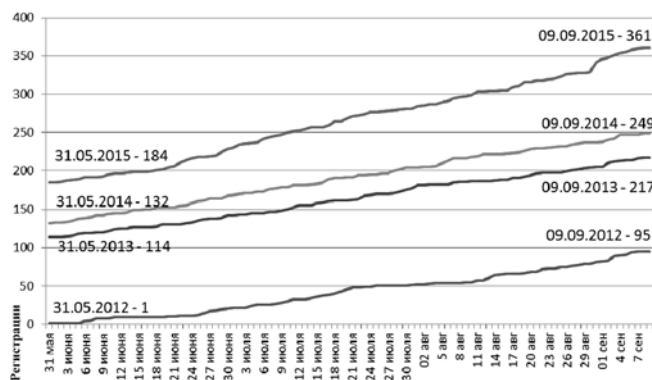


Рис. 9. Динамика регистраций на сайте <http://do.ui-miit.ru/>, в период работы приемной комиссии (с 01 июня по 09 сентября)

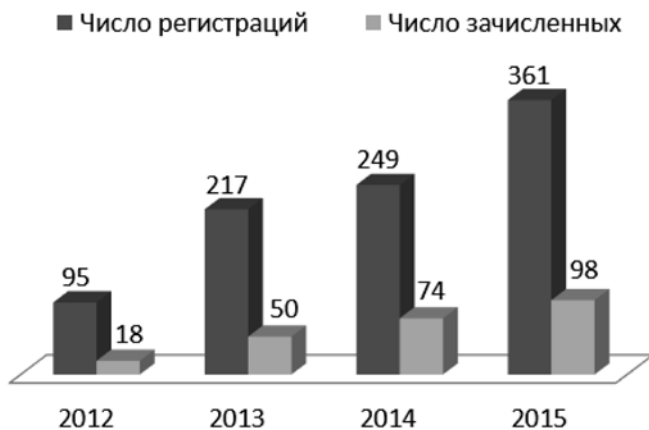


Рис. 10. Динамика регистраций и зачислений с 2012 по 2015 г.

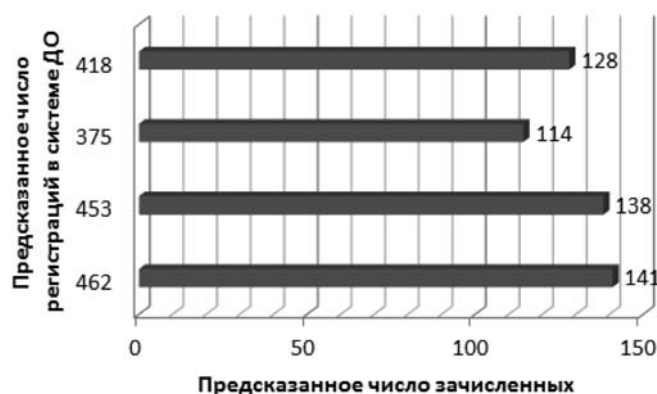


Рис. 11. Прогноз набора абитуриентов на 2016 г. по предсказанным данным числа регистраций в системе ДО

Таблица 3

Динамика регистраций в системе ДО за 2012—2017 гг.

Год	Число регистраций	Линейный тренд	Логарифмический тренд	Квадратичный тренд
2012	95	91	90	100
2013	217	181	213	193
2014	249	272	284	276
2015	361	363	335	352
2016	?	453	375	418
2017	?	544	407	477
Достоверность аппроксимации		$R^2 = 0,9493$	$R^2 = 0,9455$	$R^2 = 0,9594$

приемной комиссии (1 июня — 9 сентября) увеличивается в ≈ 2 раза (рис. 9). Исключением является первый набор абитуриентов (2012 г.), особенности которого были отражены выше. Если условия набора абитуриентов не изменятся, то зная число регистраций в системе ДО на 31 мая, можно предсказать значение данного параметра на конец работы приемной комиссии, а следовательно, определить и число зачисленных студентов.

Прогноз числа регистраций в системе ДО можно осуществить независимо от статистики посещения сайта пользователями РУНЕТ с помощью регрессий (табл. 3).

Интересно сопоставление двух данных прогнозов. На 31 мая 2015 г. в системе ДО было зарегистрировано 184 пользователя. Если удвоить данное значение на 09 сентября 2015 г., должно было пройти 368 регистраций. Относительная погрешность данного прогноза составляет 1,94 %. В свою очередь, относительная погрешность прогноза числа регистраций по модели с линейным трендом — 0,55 %, по модели с квадратичным трендом — 2,49 %. Таким образом, по достоверности прогноза данные модели сопоставимы.

Верификация предложенного подхода и построенных моделей проводилась путем сопоставления предсказанных и полученных результатов за прошедшие периоды. В частности, исследование фактических и предсказанных значений числа регистраций на 2016 г. в целом подтверждает адекватность предложенных моделей. Например, было выявлено, что относительная погрешность прогноза числа регистраций по модели с квадратичным трендом, характеризующейся наибольшим значением достоверности аппроксимации, на 28 февраля 2016 г. составляет 1,89 %, а на 31 марта 2016 г. — 1,51 %.

По фактическим данным о числе регистраций в системе ДО и наборе абитуриентов на заочную форму обучения по технологиям ДО за 2012—2015 гг. (рис. 10) был определен процент зачисленных от зарегистрированных: в 2012 г. — 18,95 %, в 2013 г. — 23,04 %, в 2014 г. — 29,72 %, в 2015 г. — 27,15 %.

Модель с логарифмическим трендом позволяет прогнозировать, что в 2016 г. набор абитуриентов составит 30,50 % от зарегистрированных пользователей в системе ДО. Таким образом, зная число регистраций (или прогноз), можно предсказать набор абитуриентов (рис. 11). В частности, если в системе ДО будет зарегистрировано 418 пользователей РУНЕТ, то набор составит 128 абитуриента.

В табл. 4 представлены данные о наборе абитуриентов за 2012—2015 гг., полученные с использованием уравнений линий тренда, а также составлен прогноз на 2016—2017 гг.

Эффективная работа по технологиям ДО, их проектирование и модернизация невозможна без количественных оценок набора абитуриентов. Предложенные модели позволили предсказать, что

Таблица 4

Динамика зачислений за 2012–2017 гг.

Год	Набор абитуриентов	Линейный тренд	Квадратичный тренд	Кубический тренд
2012	18	20	18	18
2013	50	47	49	50
2014	74	73	75	74
2015	98	100	98	98
2016	?	126	116	130
2017	?	152	130	178
Достоверность аппроксимации		$R^2 = 0,9945$	$R^2 = 0,9991$	$R^2 = 1$

число зачисленных абитуриентов в 2016 г. будет не меньше 114 (30,50 % от 375), что на 16,32 % больше, чем в 2015 г.

Заключение

Необходимо отметить, что хотя все построения опирались на опыт вуза категории 1, можно предположить, что подход, использованный здесь, может с успехом использоваться и в вузах категории 2, поскольку опирается только на фактические данные. Естественно, обобщение модели на другую категорию вузов потребует накопления фактических данных, их дополнительного анализа, и полученные зависимости будут иметь другой вид.

Проведенные работы являются основой для разработки программного модуля в составе регист-

рационной системы, который сможет формировать прогноз по посещаемости и поступлению на заданный администратором период времени. Наличие подобного механизма в составе регистрационной системы или программного комплекса приемной комиссии открывает возможности проведения исследований влияния различных факторов (начиная от дизайна и структуры сайта, до затрат на рекламу в Интернет) на привлечение потенциальных абитуриентов.

Список литературы

1. Горбунова Е. И., Кревский И. Г. и др. Организация дистанционного обучения в вузе: теория и практика / Под ред. С. Л. Лобачева. Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2007. 330 с.
2. Андреев А. А., Солдаткин В. И. Дистанционное обучение и дистанционные технологии // *Cloud of science*. 2013. № 1. С. 14–20.
3. Булгаков М. В., Гридина Е. Г., Иванников А. Д., Старых В. А. Федеральная система информационно-образовательных ресурсов // *Информационные ресурсы России*. 2009. № 2. С. 25–27.
4. Усков В. Л., Иванников А. Д., Усков А. В. Перспективные технологии для электронного образования // *Информационные технологии*. 2007. № 2. С. 32–38.
5. Груздева Л. М., Монахов М. Ю., Ташмухамедова В. Ф. Объекты и субъекты информационной безопасности в системе дистанционного обучения // *Алгоритмы, методы и системы обработки данных*. 2007. № 12. С. 54–59.
6. Лобачев С. Л. Развертывание системы сетевого ДО вуза: некоторые закономерности набора студентов в РУНЕТ // *Труды XV Всероссийской научно-метод. конф. "Телематика 2008"*. С.-Петербург, 2008. С. 382–384.
7. Интернет в России и мире. URL: http://www.bizhit.ru/index/users_count/0-151.

L. M. Gruzdeva, Assistant Professor, e-mail: docentglm@gmail.com,

S. L. Lobachev, Professor, Head of the Department, e-mail: lsl7@mail.ru,
Moscow State University of Railway Transport (MIIT), Moscow

Admission of Abiturients for Distant Learning within RUNET: Preconditions, Experience and Analysis

This article authors, based on a long period of collecting statistical data, present the set of mathematical models for predicting the demand for university education programs, implemented using distance learning technologies. The designed models are applied for the one of two defined categories of the universities. The verification of the models was made and recommendations for their uses were given.

Keywords: distance learning (DL), distance education technologies, DL's regulatory frameworks, demand for DL, RuNet, forecast admission of abiturients, attendance of admission portal

References

1. Gorbunova E. I., Krevskij I. G. i dr. *Organizaciya distancionnogo obucheniya v vuze: teoriya i praktika* [Pod red. S. L. Lobacheva]. Shahty: Izd-vo YURGUEHS, 2007. 330 p.
2. Andreev A. A., Soldatkin V. I. Distancionnoe obuchenie i distancionnye tekhnologii, *Cloud of science*, 2013, no. 1, pp. 14–20.
3. Bulgakov M. V., Gridina E. G., Ivannikov A. D., Staryh V. A. Federal'naya sistema informacionno-obrazovatel'nyh resursov, *Informacionnye resursy Rossii*, 2009, no. 2, pp. 25–27.
4. Uskov V. L., Ivannikov A. D., Uskov A. V. Perspektivnye tekhnologii dlya ehlektronnogo obrazovaniya, *Informacionnye tekhnologii*, 2007, no. 2, pp. 32–38.
5. Gruzdeva L. M., Monahov M. Yu., Tashmuhamedova V. F. Ob'ekty i sub'ekty informacionnoj bezopasnosti v sisteme distancionnogo obucheniya, *Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannyh*, 2007, no. 12, pp. 54–59.
6. Lobachev S. L. Razvertyvanie sistemy setevogo DO vuza: nekotorye zakonomernosti nabora studentov v RUNET, *Tруды XV Vserossijskoj nauchno-metodicheskoy konferencii "Telematika 2008"*, S.-Peterburg, 2008, pp. 382–384.
7. Internet v Rossii i mire. URL: http://www.bizhit.ru/index/users_count/0-151.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БИМЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМАХ INFORMATION TECHNOLOGIES IN BIOMEDICAL SYSTEMS

УДК 004.03

С. М. Авдошин, канд. техн. наук, проф., руководитель департамента программной инженерии факультета компьютерных наук, savdoshin@hse.ru,
Е. Ю. Песоцкая, канд. экон. наук, доц., epesotskaya@hse.ru,
Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики" (НИУ ВШЭ)

Экосистемы мобильной медицины

В настоящее время уделяется большое внимание развитию мобильных экосистем — совокупности организаций, поставщиков платформ, разработчиков программного обеспечения, а также производителей мобильных устройств и конечных пользователей. Экосистемы мобильной медицины — явление новое, особенно в России. Тем не менее, многие крупные компании проявляют большой интерес и видят потенциал в объединении мобильной индустрии и здравоохранения. В работе рассмотрены предпосылки, примеры и возможности развития мобильных экосистем в области медицины на Западе и в России.

Ключевые слова: экосистема, мобильная медицина, платформа, приложение, сервисы, здравоохранение, электронная медицинская карта

Введение

В последнее время термин "экосистема" набирает все большую популярность как в области бизнеса, так и в области программной инженерии. Некоторые зарубежные авторы определяют экосистему как "...совокупность предприятий, функционирующих как единое целое и взаимодействующих на общем рынке программного обеспечения и услуг, а также отношений между ними" [5]. Концепцию экосистемы можно применять в случае сотрудничества различных производителей программного и аппаратного обеспечения на конкретном рынке или в рамках совместной работы с открытым кодом. В результате компании производят новые программные продукты на основе набора конкретных технологий и с использованием большего выбора возможностей и опций для пользователей.

Сегодня, с ростом мобильного поколения — поколения 2000-х, которое полностью полагается на мобильные устройства и непрерывно использует их в повседневной жизни, можно говорить о развитии "мобильных экосистем". Такому развитию способствуют последние тенденции, в соответствии с которыми, согласно отчету VCG [6] мобильные гаджеты уже победили стационарные компьютеры по общему числу интернет-подключений, доля смартфонов на мировом мобильном рынке сейчас составляет 40 %, а к 2015 г. четыре из пяти широкополосных подключений станут мобильными. Нужно также отметить, что за 20 лет 80 % жителей Земли обзавелись мобильными устройствами — новое мо-

бильное поколение потребителей является самым технически образованным, и именно оно формирует устойчивый спрос на мобильные технологии, способствуя повышению требований к производителям ПО и развитию экосистем.

Концепция мобильной экосистемы получила огромную распространенность применительно ко многим отраслям. Медицина не составила исключение, тем более что за последнее десятилетие в мире наметился серьезный тренд к созданию мобильного здравоохранения (mHealth) [11, 12].

Следует отметить, в России, несмотря на внедрение современных технологий и появление новых медицинских сервисов, до сих пор наблюдается низкая эффективность существующих медицинских услуг, снижение числа лечебно-профилактических учреждений и их недостаточная оснащенность. Вместе с тем, существует высокая заинтересованность населения в повышении качества и доступности медицинских услуг, что делает задачу внедрения новых онлайн и мобильных сервисов с использованием технологий сбора и анализа слабоструктурированной информации крайне актуальной. Специфика роста медицинских данных и тенденции к использованию мобильных технологий в обществе приводят к необходимости создания медицинской экосистемы — сообщества различных участников, предоставляющего медицинские сервисы посредством удаленных устройств со встроенными датчиками, мобильных приложений, онлайн-сервисов, систем удаленного мониторинга,

call-центров и прочих средств диагностики, лечения и повышения информированности о медицинских услугах.

1. Описание экосистемы мобильной медицины

Концепция экосистемы мобильной медицины. Экосистемы мобильной медицины позволяют расширить область применения алгоритмов и машинного анализа в области медицины, использования электронных медицинских карт, приборов диагностики, мониторинга и обследования пациентов. Обеспечение быстрого доступа к данным пациента позволяет кардинально изменить процесс принятия решения о назначении лечения. Создание программ, которые автоматически анализируют новые данные, дает возможность существенно повысить эффект от работы. Автоматизация работы с данными, в свою очередь, сопряжена с рядом трудностей и рисков, таких как, например, стандартизация описания данных, разграничение прав доступа и обеспечение безопасности, полнота и корректность данных и др. [1]. Тем более, что по данным исследования *Ponemon Institute*, доля утечек медицинской информации, обусловленных действиями злоумышленников, выросла за 5 лет с 2010 по 2015 г. с 20 до 50 %. В области медицины создание экосистем особенно актуально, поскольку может помочь решению следующих задач: подбор процедур для пациентов на основе лучших практик и личных данных; сбор статистических данных для науки и управленческой деятельности; доступ врача к любой информации о пациентах с любого устройства в любое время; возможность поиска и опознания людей на основе их биометрических данных; проверка научных гипотез в реальном времени и, как результат, значительное сокращение числа врачебных ошибок.

С технической точки зрения экосистема должна обладать расширенным программным и аппаратным комплексом, который позволит объединить максимально возможный объем информации (полученный с датчиков, приборов, сенсоров, в том числе в режиме реального времени) для определения оптимального лечения, возможно, за счет создания единой экосистемы (рис. 1, см. третью сторону обложки).

В том числе такая система должна предоставлять врачам доступ к медицинским данным всех зарегистрированных больных, собранным за прошлые годы. С использованием статистики по этим данным врач может предлагать индивидуальную программу лечения, основанную на опыте миллионов других пациентов со схожими случаями. Врач также получит возможность делать прогнозы об эффективности различных методов лечения пациентов с определенными характеристиками и это позволит существенно поднять качество лечения пациентов.

Фактически, экосистема создает условия, при которых процесс модернизации и внедрения новаций определяют именно коллективные усилия

партнеров, а не деятельность кого-либо в отдельности. Сложность создания экосистемы мобильной медицины заключается в том, что информация о пациенте находится в разных объектах, происходит постоянная утеря и сокрытие информации по вине пациента или врача, отсутствует персонализированная аналитика, достаточно сложно объединить всех заинтересованных участников.

Участники экосистемы мобильной медицины. Экосистема определяется как экономическое сообщество при взаимной поддержке взаимодействующих организаций и частных лиц — участников делового мира [6]. Это значит, что экосистемы мобильной медицины позволяют распределять усилия и создавать среду, в которой некоторые из участников сосредоточены на медицинских сервисах, другие на аппаратной платформе, в то время как остальные игроки вовлечены в процесс интеграции своего программного обеспечения поверх существующих платформ, разработки приложений, удобных для пользователя. Участники экосистемы стремятся сфокусироваться на собственных преимуществах и сильных сторонах, отдавая на аутсорсинг другим членам экосистемы непрофильные направления деятельности.

В применении медицинских интернет-технологий и сервисов заинтересовано большое число социальных групп: врачи, пациенты, руководители медицинских учреждений, различные сообщества и страховые компании. У каждой из этих групп формируются свои представления о необходимости использования того или иного сервиса на основании личных предпочтений и профессиональной необходимости.

Так, например, сейчас врач принимает решение о диагнозе, основываясь на собственном опыте и результатах отдельных исследований, в то время, как являясь участником экосистемы, он получает доступ к структурированной информации об истории болезни и назначении препаратов, сокращает время на сбор и обработку данных на анализ болезни с учетом характера изменения данных во времени (динамических характеристик), снижает риск врачебных ошибок в процессе диагностики и лечения.

Таким образом, участниками экосистемы могут выступать частные лица, следящие за состоянием своего здоровья, государство и государственные медицинские учреждения, коммерческие лаборатории и медицинские центры, страховые компании, а также все медицинские информационные ресурсы, социальные сети, порталы и телеком-операторы, предоставляющие услуги передачи данных (рис. 2, см. третью сторону обложки).

Операторы мобильной связи являются полноценными участниками такой экосистемы, ведь с их возможностью передачи данных можно осуществлять такие сервисы, как дистанционный мониторинг состояния пациента, помощь в соблюдении схемы приема лекарств и в организации работы медиков.

Не стоит забывать и о провайдерах ИТ услуг. Так, например, компании *AT & T* и *Verizon* начали с обеспечения больниц высококачественными телекоммуникационными услугами в рамках своего основного бизнеса, но вскоре поняли потребности медицины в инновационных сетевых услугах и устройствах. После этого *Verizon* в 2014 г. представила программное обеспечение для виртуальных визитов в больницы, телеконференций врачей и думает над усовершенствованиями устройств и предоставлением новых сервисов. Компания *AT & T* думает над открытием лаборатории по разработке инвалидного кресла, подключенного к сети, для обеспечения диагностики в онлайн режиме.

С появлением большого числа носимых устройств и технологий (одежда с сенсорами, e-таблетки, экзоскелеты, умные очки, ЭКГ-датчики) экосистема мобильной медицины расширяется. В большинстве исследований [9] (38,0 %) фигурировали различные трекеры активности в виде браслетов, клипс, а также — комбинации встроенных датчиков смартфонов с мобильными приложениями. Вторыми по частоте использования были носимые устройства с инерционными датчиками — 20,0 %; обычно их также реализуют в виде браслетов или клипс. Третье место занимают датчики электрокардиосигнала (12,0 %), выполненные как в виде классических электродов, так и в виде пластыря.

Каждый участник экосистемы играет ключевую роль в создании среды, в которой любой пользователь может взять в свои руки компьютер или мобильное устройство, а различные медицинские компании могут предлагать пользователю на выбор уникальные продукты или услуги по мониторингу состояния здоровья, диагностике, лечению, наблюдению за ходом болезни.

Финансовая модель экосистемы мобильной медицины. Определение сегментов рынка и финансовой модели также крайне необходимо при разработке новой экосистемы на рынке медицинских услуг. Необходимо понимание, для каких групп предназначены данные услуги, какие основные свойства предлагаемых услуг/сервисов имеют решающее значение для привлечения клиентов и повышения конкурентоспособности на рынке медицинских услуг. Это поможет определить, какие медицинские услуги и сервисы следует оказывать, в каком количестве и какие группы пациентов в них нуждаются.

Очень важно построить грамотную финансовую модель, в которую будут вписаны сервисы экосистемы. Большинство сервисов, существующих на данный момент, не имеют привязки к сложившимся в здравоохранении денежным потокам, и финансируются альтернативными способами. Такая система финансирования представляется неустойчивой. Экосистема призвана наладить полноценное взаимодействие врача и пациента, регулирующих органов и страховых компаний, производителей

медицинского оборудования и клиник. Важно определить способ оплаты (учета) электронных консультаций с помощью мобильных сервисов, поскольку такой способ взаимодействия может быть удобен как пациенту, так и врачу. Еще одной сложностью монетизации медицинских онлайн и мобильных сервисов является специфичность медицины как области деятельности. В настоящее время врачи и медицинские учреждения получают от страховых компаний деньги только за физические визиты пациентов к врачам. Онлайн-консультации, переписка с лечащим врачом и другие альтернативные способы обслуживания пациентов не оплачиваются в рамках существующей системы денежных потоков. Именно поэтому врачи, которые признают, что половину консультаций можно было бы легко перевести в онлайн-форму без потери качества (сэкономив время врача и пациента), все же проводят их, сохраняя деньги, но при этом теряя уйму времени. В Европе проводили исследования, которые доказали, что онлайн-консультации и видеоконференции с врачами не являются полным заменителем личных визитов, но во многих простых случаях служат хорошим дополнением к стандартной схеме осмотра.

При оценке финансовой составляющей мобильной медицины, важно понимать, что рынок медицинских услуг — это не вполне потребительский рынок. Несмотря на то что пациент — это основное заинтересованное лицо в получении данной услуги, он не оплачивает ее напрямую и в полном объеме, а потому ему сложно оценить свои затраты и выгоду. Часто в цепочке присутствует третья сторона (страховая компания), что искажает оценку качества услуги потребителем.

Многие гиганты создают специализированные дочерние компании по представлению сервисов в области телемедицины и цифровых медицинских услуг. Другие создают специализированные инициативы и подразделения. Так, например, *Philips* выделила отдельную инициативу *Aging Well Services*, которая, по сути, представляет "одно окно" для всех видов продуктов для пожилых людей и ухаживающих за ними специалистов, которые позволяют обеспечить более независимое существование для пенсионеров. Частью экосистемы в данном случае является телемедицинская компания *RespondWell*, занимающаяся реабилитацией после болезни.

Предпосылки и возможности создания экосистем в России и в мире. Фактически здравоохранение в мире с точки зрения экосистем стало полем битвы двух гигантов — *Apple* и *Google*, которые видят огромный потенциал в области мобильной медицины и планируют развивать соответствующие экосистемы, создавать для этой отрасли свои носимые устройства и решения. Со своей технологией *Google Glass* компания ориентируется в первую очередь на врачей, многие из которых уже начали инвестировать в этот проект. Технология должна помочь

врачам получать доступ к ключевой для них информации непосредственно во время выполнения хирургических, диагностических процедур. "Умные" очки представляют собой интересный инструмент контроля в профессиональном образовании для записи обучения с последующим анализом и разбором [8] — один из механизмов реализации дополненной реальности в медицине. Также *Google* недавно купила компанию *DeepMind*, которая специализируется на искусственном интеллекте и использовании естественных языков.

Apple, в свою очередь, намерена использовать рост популярности персональных устройств для фитнеса и внедрить соответствующие функции в продукт *iWatch*. Также *Apple* старается реализовать на своих смартфонах интеллектуальную систему голосового управления.

Выстраивая новые экосистемы мобильной медицины, *Apple* и *Google* сталкиваются с многочисленными конкурентами, к которым относятся как уже закрепившиеся на этом рынке компании (*Nike* и *Fitbit*), так и новые игроки (*Sensogram*, *Garmin*, *Adidas*, *Samsung* и многие другие). Потребность в экосистеме, которая стимулировала бы развитие носимых технологий в секторе здравоохранения, вызвала интерес со стороны компании *MyFitnessPal*, разрабатывающей программное обеспечение для целого ряда платформ: *Fitbit*, *iOS* и др. Компания имеет все шансы в скором времени стать партнером экосистемы *Apple* или *Google*. Следующим шагом в развитии носимых медицинских устройств очевидно станут системы, встраиваемые внутрь тела. В *Google* уже приступили к разработке контактных линз для мониторинга диабета. Вполне возможно когда-нибудь компания представит подключенные медицинские решения, которые будут размещаться непосредственно в теле человека и породят новую волну споров между поклонниками *Android* и альтернативных систем. Нужно отметить, что значительные усилия в области мобильной медицины предпринимают *Facebook* и *Yahoo*. Стоит отметить, что *Apple* активно поддерживает разработчиков приложений, которые позволяют отслеживать данные о состоянии здоровья потребителей и передавать их медицинским специалистам.

Intel также является активным игроком экосистемы мобильной медицины и представляет масштабируемые и промышленные платформы на базе открытых стандартов для обновления технологий в будущем. В части медицины *Intel* предлагает системы для высокопроизводительной медицинской визуализации устройств различного применения: от рентгенографии и компьютерной томографии до магнитно-резонансной томографии, диагностики здоровья и фитнеса. Платформы являются универсальными и позволяют различным поставщикам интегрировать свои информационные технологии в сфере здравоохранения: от медицинских планшетов и прикроватных терминалов до внутренних серверов.

Еще один крупный игрок на рынке экосистем мобильной медицины — *IBM* — объявила конкурс *Watson Mobile Developers Challenge*, который направлен на поддержку разработки мобильных приложений, использующих когнитивные и аналитические возможности суперкомпьютера *Watson*. Будут выбраны три победителя, которые станут участниками программы *IBM Ecosystem* и смогут превратить свои идеи в коммерческие приложения.

Такая акция является очередным шагом в реализации плана превращения суперкомпьютера *Watson* в платформу, приносящую ежегодный доход 10 млрд долл. Идея состоит в том, чтобы разработать уникальную экосистему и выделиться на фоне других платформ для разработки настольных и мобильных приложений, которые не имеют вычислительной мощности, достаточной для распознавания вопросов на естественных языках и поддержки различных приложений искусственного интеллекта. Поскольку пользователям нужна не сама платформа, а приложения, одна из идей проекта состоит в том, что открытие доступа к этой платформе людям из разных уголков мира позволит найти инновационные и неожиданные способы использования *Watson*. Кроме того, *IBM* хочет установить обратную связь с миром разработчиков, чтобы улучшить *API*-интерфейсы, обеспечить функционал, необходимый пользователям и обнаружить новые способы монетизации возможностей суперкомпьютера.

В целом, в мире существуют сотни стартапов, таких как *OMADA Health*, *Doctor on Demand* и *Amwell*, которые помогают людям сбросить лишний вес, общаться с другими пациентами, тренерами, врачами и т. д.

Достаточно быстрый рост медицинских интернет- и цифровых технологий отмечен и в России. В нашей стране эта тенденция только набирает обороты — Россия отстает от Запада на несколько лет в части использования инноваций, являющихся неотъемлемой частью экосистемы [10]. Для полноценного развития экосистемы мобильной медицины необходимо создать сообщество, где все участники совместно трудятся над разработкой новых продуктов и поддержанием конкурентоспособности, а также над удовлетворением потребностей клиентов — пациентов, клиник и медицинских учреждений, федеральных органов, всех заинтересованных лиц.

Учитывая повсеместную распространенность сетей сотовой связи, смартфонов и подобных устройств, в ближайшее время ожидается усиление роли мобильных технологий и онлайн-медицины. Более того, этой тенденции будет способствовать превышение продаж мобильных устройств над ПК. Необходимо отметить, что Россия является самой быстрорастущей интернет-экономикой в Европе и занимает одно из лидирующих мест в мире. По данным Российской ассоциации электронных коммуникаций (РАЭК) скорость развития эконо-

мики Рунета фантастична для России и ни один сектор отечественной экономики не имеет таких темпов роста [3].

С появлением в России единого медицинского портала ЕМИАС (Единой медицинской информационно-аналитической системы), доступного для скачивания на мобильное устройство, стало возможно записываться на прием через специальное приложение. Также сервис позволяет найти поликлинику, получить ответы на частые вопросы. В планах на будущее — интеграция с уже существующими площадками, такими как Здоровье@Mail.ru, ВитаПортал, Mosregistratura и пр. В 2016 г. планируется начало оснащения бригад "Скорой помощи" планшетами, интегрируемыми с ЕМИАС и модулями ГЛОНАСС, которые позволят определять местонахождение пациентов и обеспечат доступ к данным электронных карт.

Популярность набирают профессиональные площадки для общения врачей в Рунете. Еще в 2011 г. компания *AksiMed* провела в Рунете онлайн-голосование, по результатам которого 90 % врачей высказались за активное освоение возможностей профессиональных социальных сетей, что подтверждает их готовность становиться полноценными участниками экосистемы и использовать новые технологии [4]. Однако другое исследование 2015 г. показало, что доля врачей, считающих Интернет основным источником информации, составляет около 33 %, при общей доле врачей, использующих Интернет в профессиональных целях, равной 74 % [2]. Только 3,2 % врачей используют компьютер исключительно на рабочем месте, 19 % врачей пользуются компьютером и на работе, и дома, 39,7 % только дома и 38 % вообще не используют компьютер для поиска информации, общения во врачебных сообществах, в целях развития дополнительных компетенций. Такое низкое проникновение Интернета обусловлено тем, что лишь 28 % врачей считают, что можно доверять информации, размещенной в сети. Еще сложнее дела обстоят с медицинскими учреждениями и органами здравоохранения, которые отличаются консерватизмом и зарегулированностью процессов.

Заклучение

По прогнозам многих экспертов, в самом ближайшем времени мобильные технологии станут ключевым источником доступа к источникам здравоохранения в любой точке земного шара. Однако сейчас рынок мобильной медицины в России недостаточно развит по сравнению, например, с США, где уже получают распространение тренинги и сертификационные программы по специальности виртуальное здравоохранение и телемедицина. В России для создания экосистемы мобильной медицины требуется решить целый ряд задач: отработать систему взаимодействия между участниками процесса, выбрать наиболее успешные бизнес-

модели, сформировать партнерские отношения, выработать единые стандарты.

Российскому здравоохранению требуется высокоуровневая поддержка врачебных решений в реальном времени, позволяющая решать как научные, так и клинические вопросы с высокой точностью и скоростью. Оцифровка и структурированное хранение данных о здоровье пациента и предоставление доступа и сбора данных в режиме реального времени позволят значительно улучшить качество медицинских услуг в будущем.

Создание экосистемы мобильной медицины, обладающей достаточной функциональностью, способной заинтересовать большое число пользователей, связано с большими возможностями глобального роста. Чтобы модель была успешной, необходимо продумать детали интеграции с существующими на рынке информационными технологиями и решениями в области медицины, правильно оценить потенциал рынка, найти пользовательскую нишу, а также учесть все юридические вопросы и вопросы, связанные с безопасностью.

Список литературы

1. **Авдошин С. М., Песоцкая Е. Ю.** Информатизация бизнеса. Управление рисками. М.: ДМК Пресс, 2011. 176 с.
2. **Ветошкина Ю.** MEDI-Q "Мнение практикующих врачей". Исследование Synovate Comcon 2015. Российское агентство медико-социальной информации [Официальный сайт]. URL: <https://www.gia-ami.ru> (дата обращения: 11.05.2016).
3. **Гребенников С., Логунова О.** и др. Экономика рынков интернет-сервисов и контента в России 2014—2015. РАЭК / НИУ ВШЭ [Официальный сайт]. URL: https://www.hse.ru/data/2015/12/16/1134402660/RUNET15_Booklet_A4_PREVIEW%20%25281%2529.pdf (дата обращения: 11.05.2016).
4. **Тарасенко Е. А.** Профессиональные социальные медиа врачей: перспективы и угрозы развития // Бизнес. Общество. Власть. 2013. № 14. С. 20—30.
5. **Bosch J., Bosch-Sijtsema P.** From integration to composition: On the impact of software product lines, global development and ecosystems // J. Syst. Softw. 2010. Vol. 83.
6. **Dean D., Louison M., Sampath Sowmyanarayan H., Subramanian A.** Through the Mobile Looking Glass: The Transformative Potential of Mobile Technologies // BCG Perspectives. The Boston consulting Group. 2013. April 15.
7. **Moore J. F.** Business ecosystems and the view from the firm (Экосистемы бизнеса и взгляд компании) // The antitrust Bulletin. 2006. Vol. 51, no. 1.
8. **Metcalfe H., Jonas-Dwyer D., Saunders R., Dugmore H.** Using the Technology: Introducing Point of View Video Glasses Into the Simulated Clinical Learning Environment // Comput. Inform. Nurs. 2015. P. 7.
9. **Владимирский А. В.** Систематический обзор эффективности и значимости носимых устройств в практическом здравоохранении // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2016. № 1. С. 8—10.
10. **Куда движется технологический рынок: перспективы для России: доклад Форума "Открытые инновации"** [Электронный ресурс]. ЕУ [Официальный сайт]. URL: <https://www.eu.com/where-the-technology-market-is-heading-prospects-for-russia-rus.pdf> (дата обращения: 11.05.2016).
11. **Кузнецов П. П.** Перспективы развития мобильной медицины в России // Журнал главного врача. 2015. № 2.
12. **Кузнецов П. П., Шелехов П. В.** Мобильная медицина: интеграция данных с приложений и устройств mHealth и IoT (обзор) // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2015. Т. 13, № 10. С. 26.

Mobile Healthcare Ecosystems

Today we see the great interest to the field of Software Ecosystems that have been related to products, community of developers around a product and gives the certain advantages to the platform owners and participants of the ecosystem. Mobile healthcare ecosystems — is a new trend, especially in Russia. Nonetheless many big companies see great potential in building the interface between healthcare and the mobile industry. The paper provides a step towards better understanding of background, examples and opportunities for further development of mobile healthcare ecosystems in Russia and all over the world.

Keywords: ecosystem, mobile health, platform, service, healthcare, electronic medical record

References

1. **Avdoshin S. M., Pesotskaya E. Yu.**, *Informatisation of business. Risk Management*, Moscow: DMK Press, 2011, 176 p.
2. **Vetoshkina Yu.** MEDI-Q "Opinion of practical doctors", *Research Synovate Comcon 2015*, Russian agency of medical-social information [Official website]. URL: <https://www.ria-ami.ru> (accessed: 11.05.2016).
3. **Grebennikov S. C., Logunova O.** et al., *RuNet economics in Russia 2014–2015*, RAEK / NRU HSE [Official website]. URL: https://www.hse.ru/data/2015/12/16/1134402660/RUNET15_Booklet_A4_PREVIEW%20%25281%20%2529.pdf (accessed 11.05.2016).
4. **Tarasenko E.**, Professional doctors social media: perspectives and challenges, *Business. Society. Authority*, 2013, № 14, pp. 20–30.
5. **Bosch J., Bosch-Sijtsema P.**, From integration to composition: On the impact of software product lines, global development and ecosystems, *J. Syst. Softw.*, 2010, vol. 83.
6. **Dean D., Louison M., Sampath Sowmyanarayan H., Subramanian A.**, Through the Mobile Looking Glass: The Transformative Potential of Mobile Technologies, *BCG Perspectives. The Boston consulting Group*, 2013, April 15.
7. **Moore J. F.** Business ecosystems and the view from the firm, *The antitrust Bulletin*. 2006, 51, 1.
8. **Metcalfe H., Jonas-Dwyer D., Saunders R., Dugmore H.** Using the Technology: Introducing Point of View Video Glasses Into the Simulated Clinical Learning Environment, *Comput Inform Nurs*, 2015.
9. **Vladimirski A. V.**, Systematic overview of efficiency of devices in practical healthcare, *Telemedicine and healthcare Journal*, 2016, no. 1.
10. **The way of technology market:** perspectives for Russia, Forum "Open Innovations [electronic resource], EY. [Official website], URL: <https://www.ey.com/where-the-technology-market-is-heading-prospects-for-russia-rus.pdf/> (accessed: 11.05.2016).
11. **Kuznetsov P.**, Perspectives of mobile healthcare in Russia, *Journal of Senior Doctor*, 2015, no. 2.
12. **Kuznetsov P., Shelehov P.** Mobile medicine: data integration from mHealth applications and devices and IoT (overview), *Information-Measuring and management systems*, 2015, vol. 13, no. 10.

УДК 004.383.3; 004.5

Г. Г. Знайко, канд. техн. наук, зам. ген. директора, znayko_g@ineum.ru,
Н. Л. Прохоров, д-р техн. наук, проф., науч. руководитель, prokhorov_n@ineum.ru,
В. Е. Красовский, канд. техн. наук, проф., ученый секретарь, krasovsky_v@ineum.ru
ПАО "Институт электронных управляющих машин им. И. С. Брука"

Опыт проектирования и внедрения компьютеризированной ультразвуковой медицинской техники

Создание и внедрение конкурентоспособной ультразвуковой медицинской техники является сложной междисциплинарной проблемой. Для ее решения предлагается проектно-технологическая платформа, обеспечивающая эффективное управление процессами на всех этапах жизненного цикла — от исследования концепции изделия до коммерческого внедрения и сервисного обслуживания. Методология дает возможность существенного ускорения инновационного цикла от исследовательской стадии до коммерциализации наукоемкой продукции медицинского назначения.

Ключевые слова: компьютеризированная медицинская техника, ультразвуковая диагностика, имитационное моделирование, инновационные технологии проектирования

Введение

Ультразвуковая медицинская техника является одним из наиболее эффективных и признанных методов решения проблемы оперативной точной неинвазивной диагностики сложных заболеваний,

таких как инсульт или другие нарушения в системе кровообращения.

В соответствии с данными Минздрава РФ летальность в остром периоде инсульта достигает 30...35 %, увеличиваясь на 12...15 % к концу первого

года после перенесенного инсульта. Постинсультная инвалидизация занимает первое место среди прочих причин инвалидизации. К труду возвращается 12...15 % лиц, перенесших инсульт, притом одна треть заболевших инсультом — люди трудоспособного возраста. В России инсульт ежегодно развивается у 350...550 тыс. человек, примерно 200 тыс. из них погибают. Борьба с инсультом, одна из самых актуальных медико-социальных проблем России, является важной частью Национального проекта "Здоровье". Однако стоимость импортных приборов колеблется от десятков до сотен тысяч долларов США, что делает их недостижимыми для подавляющего числа учреждений здравоохранения России. Таким образом, разработка и внедрение методов и технологий проектирования компьютеризированной ультразвуковой диагностической аппаратуры, направленных на создание научно-технологической базы для производства и внедрения в России конкурентоспособной медицинской техники, являются актуальной задачей.

Проектирование ультразвуковой медицинской техники на основе имитационного моделирования

Многообразие возможных вариантов аппаратно-программной реализации компьютеризированного диагностического комплекса и существенные различия в технологиях проектирования вызывают большие трудности на всех его этапах, начиная от анализа медико-технических требований и заканчивая изготовлением, наладкой и испытанием опытного образца.

Разработанная в ПАО "ИНЭУМ им. И. С. Брука" технология проектирования специализированных диагностических комплексов базируется на применении средств имитационного моделирования, максимальном использовании стандартов технологии открытых систем на всех уровнях детализации проекта [1—5].



Рис. 1. Модель профиля прикладной платформы для проектирования комплексов медицинской диагностики

Формализация процесса проектирования позволяет стандартизировать его, обеспечить средствами автоматизированного проектирования, кадрами и другими необходимыми ресурсами. В динамично ускоряющемся процессе проектирования, производства и применения инновационной продукции проектирование следует рассматривать как составную часть общего инновационного цикла — от исследования и постановки задачи до внедрения и коммерциализации.

В качестве основного технологического инструмента для проектирования современных комплексов ультразвуковой диагностики в ПАО "ИНЭУМ им. И. С. Брука" разработана система имитационных моделей (рис. 1), которая позволяет формализовать проектный цикл, начиная от согласования медико-технических требований и заканчивая технико-экономическим проектом и опытным образцом, предъявляемым для аттестационного тестирования.

Имитационное моделирование позволяет предварительно верифицировать и испытать без существенных затрат множество различных вариантов, подбирая необходимые параметры, алгоритмы и технические компоненты, прежде чем приступить к физической реализации и испытанию макета изделия. В соответствии с этапами проектирования, предшествующим опытом и особенностями области применения выделены четыре типа имитационных моделей (рис. 1). Каждый из типов отличается целью моделирования, способом формирования концептуальной модели, включая тип модели, рабочую нагрузку и способы декомпозиции системы. Основные отличия в типах моделей показаны в табл. 1.

В качестве примера рассмотрим проведение имитационных экспериментов на *моделях эхолокации в биосреде* с учетом особенностей исследуемых органов, параметров применяемых ультразвуковых зондов, особенностей распространения ультразвуковых волн в биологической среде и других параметров. Диапазоны изменения этих параметров определяют рабочую нагрузку моделей, а результаты моделирования позволяют уточнить требования к узлам генерации, приема и усиления. Эти требования, в свою очередь, существенным образом влияют на достижимые качества диагностической информации, в том числе на разрешающую способность прибора, максимальную глубину ультразвукового сканирования, способы управления параметрами сканирования, приема, усиления и фильтрации сигналов. В конечном итоге все перечисленные параметры очень важны для достижения конкурентоспособности проектируемой продукции медицинского назначения.

На рис. 2 показана схема имитационной модели эхолокации в биологической среде с использованием эхоимпульсного ультразвукового зонда с несущей частотой 1, 2 или 3 МГц и формированием отображаемой информации для реализации диагностического режима ЭХОВАЗОГРАФ. Модель по-

Типы моделей в цикле проектирования диагностического прибора

Модели	Цель моделирования	Тип модели	Способ декомпозиции	Рабочая нагрузка	Методы и средства моделирования
1 Модели эхолокации в биосреде	Оценка качества диагностики	Динамика на основе процессов. Реальное и модельное время	Аналитические зависимости и математические модели	Параметры датчиков и биосреды	MATLAB, Simulink
2 Модели режимов диагностики	Оценка потребительских качеств	Динамика на основе событий и работ. Модельное время	Процедуры управления диагностикой	Режимы и параметры диагностики	Simulink, StateFlow
3 Модели сигнальных потоков	Выработка технических решений	Динамика на основе транзактов и процессов. Реальное и модельное время	Модули обработки сигналов	Методы и алгоритмы обработки	Библиотеки цифровой обработки сигналов
4 Технические модели	Верификация и оптимизация	Динамика на основе событий и процессов. Реальное и машинное время	Программные модули и встроенные узлы	Параметры узлов, интерфейсы, конструкция	ИРС, Visual DSP++

звоняет при различном сочетании параметров рабочей нагрузки оценить или уточнить требования к основным узлам проектируемого устройства с точки зрения обеспечения необходимого качества диагностирования при оценке пульсаций стенок магистральных сосудов головного мозга в режиме ЭХОВАЗОГРАФ.

Основой концептуальной модели эхолокации являются закономерности распространения эхоимпульсного ультразвукового сигнала в биологических средах, изменение амплитуды и частоты сигнала по мере распространения волны, коэффициенты отражения сигнала от стенок сосуда и другие существенные характеристики, влияющие на реализацию режима ЭХОВАЗОГРАФ.

Наиболее важными параметрами рабочей нагрузки в данном случае являются глубина залегания исследуемого сосуда, которая для различных сосудов мозга может достигать 100 мм и более, и ширина (диаметр) сосуда, которая для сосудов мозга варьируется в пределах 0,5...8 мм. Возможность получения

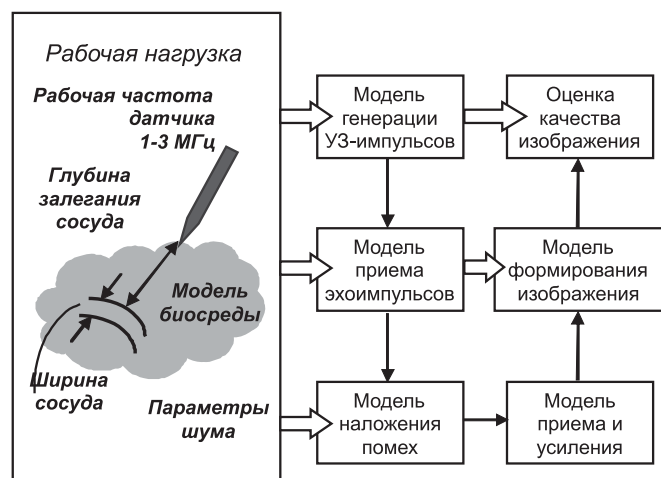


Рис. 2. Пример схемы имитационной модели эхолокации в биосреде

качественной ультразвуковой диагностической информации для каждого из исследуемых объектов предъявляет весьма жесткие требования к прибору. Доктор должен иметь возможность выбирать в соответствии с исследуемым объектом зонды с нужной рабочей частотой (обычно для данного режима в пределах 1...3 МГц), регулировать мощность излучаемого сигнала в пределах норм медицинской безопасности, выбирать адекватные режимы приема, усиления и фильтрации, которые могут существенно различаться для различных объектов медицинского исследования. Имитационная модель эхолокации дает возможность проверки и уточнения первичных требований к основным узлам и модулям проектируемого изделия.

Наиболее подходящими инструментальными средствами для решения задач имитационного моделирования комплексов медицинской диагностики являются программные пакеты *Simulink*, *Stateflow*.

Simulink содержит полный набор моделирующих инструментов быстрой разработки структуры проектируемых систем. К таким инструментам относятся библиотеки блоков, средства иерархического моделирования, средства идентификации сигналов, а также мощный набор пользовательских инструментов для создания, модификации и сопровождения структурных моделей любой степени сложности.

Обширная библиотека стандартных блоков включает в себя более 150 встроенных блоков. Кроме того, имеется возможность создавать библиотеки собственных блоков, содержащих не только описание функций, но и элементы пользовательского интерфейса, такие как иконические обозначения и диалоговые окна.

В системе *Stateflow* реализован генератор эффективного С-кода, что особенно удобно при проектировании встроенных систем сигнальной обработки или сложных систем предобработки больших потоков сигнальной информации в реальном масштабе времени.

Основные средства, используемые для построения модели:

- применение на одной схеме концепции конечного автомата, диаграммы состояний и диаграммы потоков, таких как *E*-сети [6];
- поддержка иерархической структуры объектов, параллелизма состояний, комментариев по соединениям объектов или по истории построения модели;
- возможность использования на диаграмме модели традиционных программистских конструкций, таких как оператор цикла или условный оператор;
- планирование переходов и событий с использованием временных операторов ("before", "after", "at", "every");
- графические способы определения функций с использованием блок-схем, обеспечивающие удобство построения, доступа и сопровождения;
- возможность подключения пользовательских и стандартных программ на языке *C*, имеющих входные и выходные аргументы;
- поддержка полного набора типов данных и операций с фиксированной точкой (при установленном пакете *Fixed-Point Blockset*);
- поддержка векторных и матричных типов данных для обеспечения операций ввода-вывода в *Simulink*.

Особенности процесса моделирования:

- возможность подачи управляющих сигналов для подсистем *Simulink*, включающихся только при определенных условиях;
- возможность анимации диаграмм *Stateflow* для визуализации состояния системы и проведения отладки;
- выполнение в процессе моделирования проверок наличия конфликтов переходов, циклических проблем, непротиворечивости состояний, нарушения разрядности и переполнения;
- подключение встроенного отладчика для графической установки контрольных точек, пошагового режима моделирования и просмотра данных, анализ соответствия заданной структуры;
- применение кодировщика *Stateflow* для генерации кодов обработки целочисленных значений, чисел с фиксированной или плавающей точкой для автономных аппаратных узлов.

В структурную схему модели *Simulink* можно включать новые или ранее созданные блоки с описанием функций на языках *MATLAB* и *C*.

Поскольку *Simulink* поддерживает векторные операции, это позволяет существенно сократить число блоков, требуемых для моделирования системы. В результате модель задается в виде простой и удобной для чтения структурной схемы. В *Simulink* есть специальные блоки для мультиплексирования и демультимплексирования сигналов, создания шин данных, объединения сигналов и выполнения переключений.

В системе реализован мощный набор средств управления процессом моделирования, позволяющий задавать выполнение моделирующей программы с фиксированными или переменными шагами. С помощью интерактивных средств диагностики ошибок можно быстро выявить проблемы, проводя пошаговое моделирование, наблюдая состояние каждого узла, входные и выходные значения.

Интеграция *Simulink* с пакетом *Stateflow*, построенном на основе метода конечных автоматов, обеспечивает возможность построения и моделирования системной динамики и событийного поведения в единой системной модели. С помощью диаграммы состояний *Stateflow* можно определить управляющий блок, который при определенных условиях активизирует или останавливает работу конкретных подсистем модели *Simulink*. При этом управляющий блок может получить сигнал из модели *Simulink*, определить необходимые действия, соответствующим образом изменить состояния и передать логические сигналы, активизирующие или останавливающие работу соответствующих подсистем модели *Simulink*.

Для реализации изложенного здесь подхода к проектированию компьютеризированных диагностических ультразвуковых приборов в ПАО "ИНЭУМ им. И. С. Брука" разработана исследовательская рабочая станция (ИРС), которая позволяет интегрировать современные инновационные технические и программные средства в единый многопроцессорный комплекс [4]. Разработанная ИРС способна обеспечить проектирование и испытание комплексов, осуществляющих одновременный прием входной сигнальной информации, ее преобразование, реконструкцию и визуализацию исследуемых объектов в реальном масштабе времени с разрешением не менее 512×512 пикселей и частотой не менее 25 кадров в секунду с автоматическим вычислением параметров и гибкими режимами управления. В настоящее время ИРС используется для исследовательских и экспериментальных работ по реализации системы имитационных моделей и для обучения специалистов в области проектирования современных средств медицинской диагностики.

Предлагаемый подход к проектированию имеет следующие преимущества:

- возможность проектирования, верификации, оптимизации и отладки в полунатурном режиме реального времени широкой номенклатуры — от недорогих, компактных и мобильных компьютеризированных приборов с ограниченным числом входных каналов до мощных исследовательских и диагностических станций, обеспечивающих двухмерную и трехмерную визуализацию сложных динамических объектов в реальном масштабе времени;
- максимальное использование стандартизированных технических решений и серийно выпускаемых аппаратных и программных средств, позво-

Регистрируемые показатели гемодинамики

Параметр	Принятые сокращения		Единицы измерения
	Отечественное	Международное	
Частота сердечных сокращений	ЧСС	HR	уд/мин
Артериальное давление	АД	AP	мм рт. ст.
Систолическое артериальное давление	САД	SAP	мм рт. ст.
Диастолическое артериальное давление	ДАД	DAP	мм рт. ст.
Пульсовое артериальное давление	АД _п	PAP	мм рт. ст.
Среднее артериальное давление	АД _{ср}	MAP	мм рт. ст.
Центральное венозное давление	ЦВД	CVP	мм рт. ст.
Сердечный выброс (минутный объем сердца, минутный объем кровотока)	СВ, МОС, МОК	CO	л/мин

Принципы неинвазивного определения параметров гемодинамики

Оценка параметров гемодинамики и мониторинга сердечно-сосудистой системы является обязательным условием современной интенсивной терапии, реаниматологии и анестезиологии и активно применяется в травматологии и неврологии. "Золотым" стандартом оценки системной гемодинамики (СГД) принято считать инвазивные (т. е. "кравые") методы исследования, как обладающие наибольшей точностью и информативностью.

Ниже рассматривается задача разработки таких технологий компьютеризированной диагностики кровообращения [7], которые имеют максимальную информативность, являясь неинвазивными или минимально инвазивными. Задача неинвазивного измерения параметров гемодинамики актуальна на сегодняшний день.

Основными параметрами, характеризующими системную гемодинамику, являются следующие: системное артериальное давление, общее периферическое сопротивление сосудов, сердечный выброс, работа сердца, венозный возврат крови к сердцу, центральное венозное давление, объем циркулирующей крови к сердцу. Весь перечень параметров можно разделить на две группы: регистрируемые параметры (табл. 2) и расчетные (производные) параметры (табл. 3).

Данная задача относится к классу вычислительной физиологии, когда в медицине применяют

сложные математические модели, описывающие конкретный физиологический процесс, а также прогнозирующие системы и алгоритмы; проводится численное моделирование различных физиологических процессов человеческого организма, таких как гемодинамика, гематология, травматология и др.

В настоящее время из глобальных моделей сердечно-сосудистой системы наиболее адекватны реальности динамические модели пульсирующих течений несжимаемой жидкости в системе растяжимых трубок, позволяющие учитывать изменения как в пределах однократного сердечного и дыхательного циклов, так и на более длительных временных периодах (кругооборот веществ по всей артериально-венозной системе — в пределах 30 с, время насыщения — в пределах до 10 мин, и др.).

В качестве базовой модели можно применить квазиодномерную гидравлическую модель нестационарного движения несжимаемой жидкости в деформируемом кровеносном сосуде переменного сечения обобщенной (на случай иерархической ветвящейся системы кровеносных сосудов) фрактальной (самоподобной) структуры. Тогда можно привести решение для численного моделирования средних за кардиоцикл значений параметров гемо-

Таблица 3

Некоторые производные показатели гемодинамики

Показатель	Принятые сокращения		Расчет	Единицы измерения
	В отечественной литературе	Международное		
Ударный объем сердца	УО	SV	CO/HR	мл · уд ⁻¹
Общее периферическое сосудистое сопротивление	ОПСС, ОПС	SVR	(MAP-CVP)/CO · 79.9	дин/с · см ⁻⁵

динамики (так называемые стационарные решения системы уравнений гемодинамики) [8]:

$$\begin{cases} U_{ks} S_k^0 = c_1 = \text{const}, \\ (U_{ks})^2/2 + P_{ks}/\rho_k^0 = c_2 = \text{const}, \end{cases} \quad (1)$$

где U_{ks} — среднее за кардиоцикл (индекс s) значение скорости кровотока по каждому из сосудов k -го поколения в иерархической ветвящейся системе кровеносных сосудов, м/с;

$S_k^0 = \pi D_k^2/4$ — средняя площадь поперечного сечения сосуда k -го поколения, м^2 ;

D_k — средний диаметр сосуда k -го поколения, м;

P_{ks} — среднее за кардиоцикл (индекс s) значение давления в сосудах k -го поколения, мм рт. ст., $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$, Па;

ρ_k^0 — средняя плотность крови в сосудах k -го поколения, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$c_1 = Q_k = \text{const}$ — объемный поток крови через сосуд k -го поколения, $\text{м}^3/\text{с}$;

$c_2 = \text{const}$ — измеряемая при "калибровке" прибора константа, $\text{м}^2/\text{с}^2$. По своей размерности и смыслу она эквивалентна скорости распространения пульсовой волны в крупных кровеносных сосудах k -го поколения c_k (см. далее по тексту).

Первое уравнение в системе (1) отражает закон сохранения объема в случае несжимаемой жидкости, а второе уравнение — уравнение Бернулли, следующее из уравнения импульса для стационарных течений невязкой жидкости.

Таким образом, для неинвазивного измерения и мониторинга АД, ЦВД и других параметров гемодинамики необходимо применить методику для одновременного измерения средней за кардиоцикл скорости кровотока по сосуду k -го поколения (U_{ks}) и среднего диаметра сосуда k -го поколения (D_k). Прибор, позволяющий провести данные измерения, должен быть предварительно прокалиброван для определения констант c_1 и c_2 . Подставляя все параметры в систему уравнений (1), можно вычислить P_{ks} — среднее за кардиоцикл значение давления в сосудах k -го поколения. Например, для определения ЦВД в качестве сосуда k -го поколения можно взять: подключичную вену, бедренную вену, внутреннюю яремную вену, внешнюю яремную вену и пр. Очевидно, что по каждому из данных сосудов будут установлены свои значения c_1 и c_2 . Предлагаемый подход позволит существенно повысить достоверность результатов численного моделирования.

Среди методик для измерения U_{ks} и D_k несомненными лидерами являются акустические методы, реализуемые ультразвуковыми диагностическими приборами. Среди таких приборов есть универсальные сканеры, например с цветовым доплеровским картированием, позволяющие сразу определить требуемые параметры U_{ks} и D_k , однако их стоимость все еще высока. В качестве "эффективной" альтер-

нативы мы предлагаем использовать модифицированный одномерный режим, в котором происходит одновременная регистрация пульсаций мягкой и мышечной ткани во времени (ЭхоПГ в М-режиме), и доплеровское измерение скорости потока крови в выбранном измерительном объеме (транскраниальная доплерография — ТКД). Режим ЭхоПГ позволяет измерить просвет сосуда, т.е. определить значение D_k , а режим ТКД — измерить U_{ks} в выбранном сосуде.

Следующее предложение позволяет обойтись без предварительной калибровки прибора, требующей применения прямых инвазивных методов (катетеризация сосудов). В основе данного предложения лежит исследование возможности использования тех или иных функциональных зависимостей, которые могли бы связывать значение АД с каким-либо физиологическим параметром, регистрируемым неинвазивно. В качестве такого параметра выбрана скорость распространения пульсовой волны.

В крупных кровеносных сосудах k -го поколения скорость распространения пульсовой волны (СРПВ) (c_k [$\text{м}^2/\text{с}^2$]) определяется по формуле Моенса — Кортвега:

$$c_k = E_k h_k / \rho_k^0 D_k, \quad (2)$$

где E_k — модуль упругости сосуда k -го поколения, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$; h_k — толщина его стенки, м; ρ_k — средняя плотность крови в сосудах k -го поколения, $\text{кг}/\text{м}^3$; D_k — средний диаметр сосуда k -го поколения, м.

Таким образом, выясняется смысл константы c_2 в формуле (1), которая эквивалентна скорости распространения пульсовой волны [9]. Соответственно, процедура "калибровки" прибора представляет собой процедуру измерения этой скорости.

Для реализации такой процедуры можно предложить следующую методику. Известно, что при неизменных упруго-вязких свойствах сосуда СРПВ определяется значением напряжения в нем при взаимодействии с АД. Это свойство использовано для разработки метода безманжетного непрерывного контроля АД. Метод основан на практически линейной зависимости СРПВ от АД в физиологическом диапазоне значений давления. На практике измеряют время распространения пульсовой волны (ВРПВ), определяемое как интервал между пульсовыми волнами, регистрируемыми в разных точках артериальной системы [10], или как интервал между ЭКГ-сигналом и пульсовой волной в точке, удаленной от сердца [11]. Так, например, в работе [11] описан выполненный в микроисполнении прибор, состоящий из фотоэлектрического датчика пульсовой волны, располагаемого на запястье, блока ЭКГ, блока давления, таймера, дисплея и источника питания. Давление определяется по значению интервала между зубцом R ЭКГ и какой-либо

устойчивой точкой на кривой пульсовой волны исходя из соотношения:

$$P_{ks} = 20/t_{ks}, \quad (3)$$

где P_{ks} — среднее за кардиоцикл (индекс s) значение давления в сосуде k -го поколения, мм рт. ст., кг/(м · с²), Па; t_{ks} — среднее за кардиоцикл (индекс s) в сосуде k -го поколения (ВРПВ), с.

Расчетная формула построена на допущении, что в норме среднему давлению 100 мм рт. ст. соответствует ВРПВ = 0,2 с. Такая градуировка прибора является условной и предназначена для удобства потребителя, поскольку в большинстве случаев требуется знать не абсолютное значение АД, а его динамику. При необходимости прибор может быть калиброван под конкретного пациента.

При отсутствии другой измеряющей аппаратуры возможно использование параметров АД и ЧСС для определения ударного объема сердца (УО), минутного объема кровотока (МОК), общего периферического сосудистого сопротивления (ОПСС) расчетным методом по формуле J. Starr [10]:

$$\text{УО [мл]} = 100 + (\text{АД}_n/2) - (0,6\text{ДАД}) - (0,6\text{В}),$$

где В — возраст [лет];

$$\text{МОК} = \text{УО} \cdot \text{ЧСС};$$

$$\begin{aligned} \text{ОПСС [дин/с} \cdot \text{см}^{-5}] &= \\ &= \text{САД} \cdot 79 \, 980 / \text{МОК [мл/мин]}. \end{aligned}$$

Объединяя ультразвуковые режимы с ЭКГ-каналом и фотоплетизмографом, можно создать рабочую станцию, обеспечивающую неинвазивную оценку параметров гемодинамики. Подобная интеграция всех режимов в одном приборе не встречается на нашем рынке и поэтому уникальна. Возможность неинвазивного определения АД разными путями в одном приборе позволяет повысить точность проводимых измерений. Предлагаемая методика направлена на дальнейшее развитие и практическое применение инновационных технологий проектирования многофункциональных приборов и комплексов медицинской диагностики, разрабатываемых ПАО "ИНЭУМ им. И. С. Брука" в кооперации с кафедрой нервных болезней лечебного факультета Московского государственного медико-стоматологического университета имени А. И. Евдокимова.

Опыт разработок и коммерческого внедрения медицинских диагностических комплексов

С середины 1990-х годов ПАО "ИНЭУМ им. И. С. Брука" совместно с Научно-методическим центром Министерства здравоохранения России "Ультразвуковые и тепловизионные методы в неврологии" и кафедрой нервных болезней лечебного факультета МГМСУ им. А. И. Евдокимова проводит исследования и разработки в области создания компьютеризированных ультразвуковых диагностических приборов, доступных предприятиям и учреждениям российского здравоохранения и позво-



Рис. 3. Малогабаритный ультразвуковой прибор "ЭхЭДГ-Комплекс-М"

ляющих выявлять признаки и симптомы сосудистых заболеваний на ранней стадии. В результате сотрудничества были проведены исследования и опытные разработки по реализации ряда наиболее актуальных для отечественной медицины диагностических режимов [12—16].

Разработан компьютеризированный переносной малогабаритный комплексный ультразвуковой прибор "ЭхЭДГ-Комплекс-М" (рис. 3), налажено его серийное производство. Прибор предназначен для экстренной диагностики заболеваний и травм головного мозга, магистральных и периферических сосудов, а также гайморовых и фронтальных пазух. Применяется в неврологии, нейрохирургии, ангиологии, психиатрии, травматологии, реаниматологии, отоларингологии. Может использоваться в стационаре, поликлинике, в машине скорой помощи, для обследования на дому, в полевых условиях, в спортивной медицине.

Диагностические режимы:

- доплеровский анализатор кровотока (один доплеровский экстракраниальный зонд (СW) 4 МГц);
- двухканальный эхоэнцефалоскоп (два эхоимпульсных энцефалографических зонда 1 МГц, два эхоимпульсных энцефалографических зонда 2 МГц);
- эховасоскоп (один эхоимпульсный энцефалографический зонд 1 МГц, один эхоимпульсный энцефалографический зонд 2 МГц);
- эхосинускоп (один эхоимпульсный синускопический зонд 3 МГц).

Функциональные возможности:

- отображение в реальном времени и в режиме "стоп-кадр" эхоэнцефалограмм (А + А), пульсограмм (А + Р) и доплерограмм;
- измерение временных параметров пульсограмм и доплерограмм;
- измерение скорости кровотока;
- звуковое воспроизведение доплеровских частот;

- расчет диагностических коэффициентов;
- измерение глубины и линейных размеров отражающих структур мозга;
- выявление экссудата в гайморовой пазухе;
- запоминание и распечатка результатов обследования и данных о пациенте.

Основные характеристики:

- диапазон регистрируемых скоростей кровотока от 3 до 200 см/с;
- максимальная глубина импульсного зондирования 200 мм;
- питание от однофазной сети 220 В, 50 Гц;
- габаритные размеры 135 × 330 × 460 мм;
- масса 9 кг.

В 2000—2002 гг. серия переносных компьютеризированных многофункциональных приборов "ЭхЭДГ-Комплекс-М" прошла стадию сертификации и лицензирования. В течение 10 лет приборы этой серии ежегодно поставляют в десятки медучреждений России.

В настоящее время в ПАО "ИНЭУМ им. И. С. Брука" разработана и серийно выпускается новая линейка диагностических приборов в различных конструктивных исполнениях, проведены все необходимые испытания, лицензирование и сертификация. Некоторые из этих приборов показаны на рис. 4.

Стационарное исполнение предназначено, в первую очередь, для оборудования кабинетов функциональной диагностики в поликлиниках и больницах: для обследования "плановых" больных, пациентов с хроническими заболеваниями, в подостром и реабилитационном периодах, для проведения диспансерных осмотров.

Компактное исполнение в виде приставки к компьютеру наиболее универсально и экономично. Такой прибор можно использовать как для оборудования "стационарного" рабочего места врача функциональной диагностики, так и для обследования у постели больного (с ноутбуком или планшетом).

Переносное исполнение — "кейсовый" автономный вариант востребован, в первую очередь, для экстренных медицинских служб (скорой медицинской помощи, медицины катастроф, военной медицины), позволяя проводить обследование непосредственно на месте происшествия, в машине скорой помощи или у постели заболевшего. Также его

можно применять в реанимационном, неврологическом или нейрохирургическом отделениях стационара, когда необходимо обследование непосредственно у постели больного. Вместе с тем, такая портативная многофункциональная модель удобна для частнопрактикующих врачей, врачей семейной медицины и общей практики.

Каждый такой прибор может содержать ультразвуковой доплерограф (экстракраниальная и транскраниальная доплерография) и/или эхоэнцефалограф, а также синускоп для ультразвукового исследования лобных и гайморовых пазух.

Таким образом, один ультразвуковой диагностический прибор может осуществлять до четырех неинвазивных методик обследования:

- ультразвуковую доплерографию;
- транскраниальную доплерографию;
- эхоэнцефалографию и эхопультсографию;
- синускопию.

Преимущества и функциональные возможности приборов:

- простой и удобный интерфейс;
- многооконный режим отображения результатов доплеровского исследования для оценки симметричности или динамики кровотока;
- отображение в режиме реального времени двух каналов энцефалограммы или канала энцефалограммы с каналом эхопультсограммы;
- оценка глубины и линейных размеров структур на эхоэнцефалограмме;
- оценка скоростных и временных параметров доплерограмм;
- автоматический расчет различных диагностических индексов:
 - для доплеровских исследований: резистивный индекс, пульсовой индекс, систоло-диастолический индекс Стюарта, индекс степени стеноза Арабелли, индекс спектрального расширения;
 - для эхоэнцефалографических исследований: пульсация III желудочка и других сигналов, среднеселлярный индекс, индекс мозгового плаща, индекс Лившеца, индекс боковых желудочков Эванса, ошибка трансмиссии;
- запись результатов исследования с возможностью последующего повторного просмотра и расчета любых параметров;
- база данных пациентов с возможностью сохранения результатов всех исследований;
- просмотр сохраненных данных на любом компьютере с ОС Windows (при наличии программного обеспечения прибора);
- возможность пересылки результатов исследования по различным каналам электронной связи.



Рис. 4. Цифровые многофункциональные ультразвуковые медицинские приборы для доплеровских и эхоэнцефалографических обследований серии "Комплексмед"

Заключение

Опыт работы с потребителями позволил выявить особенности применения ультразвуковой медицинской техники в различных ситуациях и наиболее актуальные проблемы, с которыми сталкиваются медики различной специализации в центральных и районных больницах, поликлиниках, службах скорой помощи, палатах интенсивной терапии. В настоящее время в ПАО "ИНЭУМ им. И. С. Брука" разрабатывается ряд проектов, которые находятся на разных стадиях инновационного цикла [17, 18].

Список литературы

1. Прохоров Н. Л., Олейников А. Я., Знайко Г. Г., Красовский В. Е., Стулин И. Д., Швейн А. А. Инновационные технологии в проектировании медицинских диагностических комплексов // Вопросы радиоэлектроники. 2008. Сер. ЭВТ. Вып. 2.
2. Знайко Г. Г. Современные технологии проектирования компьютеризированных комплексов неинвазивной ультразвуковой диагностики для медицины // Вопросы радиоэлектроники. 2005. Сер. ЭВТ. Вып. 2.
3. Знайко Г. Г. Проектирование компьютеризированных медицинских диагностических комплексов с применением имитационных моделей // Информационные технологии и вычислительные системы. 2005. № 4.
4. Прохоров Н. Л., Знайко Г. Г., Красовский В. Е., Швейн А. А. Проектирование комплексов обработки сигналов для медицинской диагностики: учеб. пособие. М.: МИРЭА, 2006. 140 с.
5. Знайко Г. Г. Проектирование компьютеризированных диагностических комплексов на основе стандартов открытых систем // Приборы. 2007. № 5.
6. Гуляев А. К. MATLAB 5.3. Имитационное моделирование в среде Windows: практическое пособие. СПб.: КОРОНА принт, 2001. 400 с.
7. Знайко Г. Г., Стулин И. Д., Швейн А. А., Соловьев В. Ю., Красовский В. Е., Робинзон А. А. Принципы проектирования компьютеризованных диагностических комплексов для неинвазивной оценки параметров системы кровообращения // Вопросы радиоэлектроники. 2009. Сер. ЭВТ. Вып. 3.
8. Компьютерные модели и прогресс медицины // Серия "Кибернетика: неограниченные возможности и возможные ограничения". М.: Наука, 2001.
9. Малиновский Е. Л. Учебно-методическое пособие по использованию пальцевой фотоплетизмографии. URL: <http://www.tokranmed.ru/metod/fpg.htm> (дата обращения 21.03.2016).
10. Jozon M. M. Procés de mesure de la pression arterielle par voie exteme Brevet d'invention 2 523 432 // France industr Bull Off Propnete. 1983. № 38. P. 19.
11. Carruthers E. M. Cardiovascular monitors United Kingdom Pat Application 2 058 355 A GB // Publ. by the Patent Office L. 1981. P. 4.
12. Знайко Г. Г., Стулин И. Д. Компьютеризированный многофункциональный комплекс для исследования головного мозга, артерий и вен головы и конечностей // Научные технологии. 2001. № 1.
13. Стулин И. Д., Мусин Р. С., Знайко Г. Г. и др. Можно ли совершенствовать диагностику смерти мозга? // Сб. научн. тр. МГМСУ. М.: МГМСУ, 2006.
14. Стулин И. Д., Мусин Р. С., Знайко Г. Г. и др. Диагностика смерти мозга: Методические рекомендации для врачей. Департамент здравоохранения г. Москвы. М., 2002.
15. Знайко Г. Г., Соловьев В. Е., Красовский В. Е. Devices for Ultrasonic Diagnosis of Vascular Descases // Biomedical Engineering. 2003. Vol. 37, N 4.
16. Знайко Г. Г., Стулин И. Д. Компьютерный многофункциональный прибор "ЭхЭДГ — Комплекс — М" для диагностики в ангиологии // Научные технологии. 2003. № 1.
17. Прохоров Н. Л., Знайко Г. Г., Швейн А. А., Баловнев Д. А., Красовский В. Е. Развитие методов и технологий проектирования ультразвуковых диагностических систем // Вопросы радиоэлектроники. 2012. Сер. ЭВТ. Вып. 3.
18. Управляющие вычислительные комплексы для промышленной автоматизации: учеб. пособие / Н. Л. Прохоров, Г. А. Егоров, В. Е. Красовский и др.; Под ред. Н. Л. Прохорова, В. В. Сюзева. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012.

G. G. Znajko, PhD. (Tech.), Deputy Director General, znayko_g@ineum.ru,
N. L. Prokhorov, D. Sc. (Tech.), Prof., Research Supervisor of the Institute, prokhorov_n@ineum.ru,
V. E. Krasovsky, PhD. (Tech.), Prof., Scientific Secretary, krasovsky_v@ineum.ru
Institute of Electronic Control Computer named after I. S. Brook, Moscow

The Experience of Design and Introduction into Service of the Computerised Ultrasound-Based Medical Equipment

The use of the ultrasound-based medical equipment is one of the most efficient and commonly accepted methods to provide for the time-critical and delicate non-invasive diagnosis of serious medical conditions such as a stroke or other blood circulatory system abnormalities.

However, the cost of the imported units varies from tens to hundreds of thousands of the US dollars, which makes these medical instruments practically inaccessible for the majority of healthcare institutions in Russia. The focus of this work is the development and the implementation of the methods and techniques for designing computerised ultrasound-based medical diagnostic equipment in order to create in Russia the scientific and technological basis for the production and adoption of the competitive medical equipment.

A system of simulation models developed at PJSC "INEUM named after I. S. Brook" is used now as the main technological tool for designing modern complexes for ultrasound-based diagnostics. The use of this system of simulation models allows to formalise the entire design cycle, from formulation of the medico-technical requirements to the feasibility (technical and economic) project and creation of a prototype to be presented for testing and certification. Formalisation of the design process enables its standardisation and allows to ensure the computer-added design tools, human resources and other required resources are available.

The simulation modelling allows to perform preliminary verification and testing of a number of various alternatives without incurring substantial expenses and to choose necessary parameters, algorithms and technical components before starting the actual creation and testing of a preproduction prototype.

A line of the computerised ultrasound-based diagnostic medical units in the "Complexmed" series was developed at PJSC "INEUM named after I. S. Brook" and is currently in production. This line of diagnostic units was designed using the aforementioned approach and the entire series is fully compliant with all the testing, licensing and certification requirements. The devices of the "Complexmed" series in various designs have been supplied for the past ten years to tens of medical institutions in Russia for performing Doppler and echoencephalographic examinations.

The use of the aforesaid method of designing the ultrasound-based medical equipment can be among ways to control and reduce the final costs of such equipment and would therefore enable production of state-of-the-art products at competitive prices that would serve substitution alternatives to higher-priced imported units.

Keywords: computerized medical equipment, noninvasive ultrasound-based diagnostics, simulation modeling, innovative techniques used in the design

References

1. Prokhorov N. L., Olejnikov A. Ja., Znajko G. G., Stulin I. D., Shvein A. A. Innovacionnye tehnologii v proektirovanii medicinskih diagnosticheskikh kompleksov (Innovative techniques and processes used in designing of the medical diagnostic complexes), *Voprosy radioelektroniki*, 2008, Ser. EVT, no. 2.
2. Znajko G. G. Sovremennye tehnologii proektirovaniya komp'yuterizirovannykh kompleksov neinvazivnoj ul'trazvukovoj diagnostiki dlja mediciny (State-of-the-art techniques used in the design of computerised complexes for non-invasive ultrasound-based medical diagnosis), *Voprosy radioelektroniki*, 2005, Ser. EVT, no. 2.
3. Znajko G. G. Proektirovanie komp'yuterizirovannykh medicinskih diagnosticheskikh kompleksov s primeneniem imitacionnykh modelej (The design of the computerised medical diagnostic complexes based on the use of simulation models), *Informacionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy*, 2005, no. 4.
4. Prokhorov N. L., Znajko G. G., Krasovsky V. E., Shvein A. A. Proektirovanie kompleksov obrabotki signalov dlja medicinskoj diagnostiki (The design of signal processing complexes for use in medical diagnostics): Ucheb. posobie, Moscow, MIREA, 2006, 140 p.
5. Znajko G. G. Proektirovanie komp'yuterizirovannykh diagnosticheskikh kompleksov na osnove standartov otkrytykh sistem (The design of the computerised diagnostic complexes on the basis of the open-systems standards), *Pribory*, 2007, no. 5.
6. Gultaev A. K. MATLAB 5.3. Imitacionnoe modelirovanie v srede Windows. Sankt-Petersbourg, Corona print, 2001, 400 p.
7. Znajko G. G., Stulin I. D., Shvein A. A., Solov'ev V. Ju., Krasovsky V. E., Robinzon A. A. Principy proektirovaniya komp'yuterizirovannykh diagnosticheskikh kompleksov dlja neinvazivnoj ocenki parametrov sistemy krovoobrashhenija (The design principles of the computerised diagnostic complexes for the non-invasive assessment of the parameters of the blood circulatory system), *Voprosy radioelektroniki*, 2009, Ser. EVT, no. 3.
8. Komp'yuternye modeli i progress mediciny (Computer models and progress of medicine), Serija "Kibernetika: neogranichennye vozmozhnosti i vozmozhnye ogranichenija", Moscow, Nauka, 2001.
9. Malinovskij E. L. Uchebno-metodicheskoe posobie po ispol'zovaniyu pal'cevoj fotopletizmografii (The study guide on the use of digital photoplethysmography). URL: <http://www.tokranmed.ru/metod/fpg.htm> (date of access 21.03.2016).
10. Ezzat M. M. Procese de mesure de la pression arterielle par voie externe Brevet d'invention 2 523 432, *France industr Bull Off Propriete*, 1983, no. 38, 19 p.
11. Carruthers E. M. Cardiovascular monitors United Kingdom Pat Application 2 058 355 A GB, *Publ. by the Patent Office L.*, 1981, 4 p.
12. Znajko G. G., Stulin I. D. Komp'yuterizirovannyj mnogofunkcional'nyj kompleks dlja issledovaniya golovnogo mozga, arterij i ven golovy i konechnostej (The computerised multi-purpose complex for the encephalography and the research of the arteries and veins of head and extremities), *Naukoemkie tehnologii*, 2001, no. 1.
13. Stulin I. D., Musin R. S., Znajko G. G. i dr. *Mozhno li sovershenstvovat' diagnostiku smerti mozga?* (Is it possible and is it necessary to seek to improve the diagnosis of brain death?): Sb. nauchn. tr. MGMSU, Moscow, MGMSU, 2006.
14. Stulin I. D., Musin R. S., Znajko G. G. i dr. *Diagnostika smerti mozga* (The diagnosis of brain death): Metodicheskie rekomendacii dlja vrachej. Departament zdravoohraneniya g. Moskvy, Moscow, 2002.
15. Znajko G. G., Solov'ev V., Krasovsky V. Devices for Ultrasonic Diagnosis of Vascular Descases, *Biomedical Engineering*, 2003, vol. 37, no. 4.
16. Znajko G. G., Stulin I. D. Komp'yuternyj mnogofunkcional'nyj pribor "EhEDG — Kompleks — M" dlja diagnostiki v angiologii (The computer-based multi-purpose "EhEDG-Complex-M" unit for diagnostics in angiology), *Naukoemkie tehnologii*, 2003, no. 1.
17. Prokhorov N. L., Znajko G. G., Shvein A. A., Balovnev D. A., Krasovsky V. E. Razvitie metodov i tehnologij proektirovaniya ul'trazvukovykh diagnosticheskikh sistem (Development of methods and technologies for the construction of ultrasonic diagnostic system), *Voprosy radioelektroniki*, 2012, Ser. EVT, no. 3.
18. *Upravljajushhie vychislitel'nye komplekсы dlja promyshlennoj avtomatizacii* (Control computers for industrial automation): Ucheb. posobie / N. L. Prokhorov, G. A. Egorov, V. E. Krasovsky i dr.; Pod red. N. L. Prohorova, V. V. Sjuzeva, Moscow, Izd-vo MG TU im. N. E. Bauman, 2012.

Адрес редакции:

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала (499) 269-5510

E-mail: it@novtex.ru

Технический редактор *Е. В. Конова*.

Корректор *Е. В. Комиссарова*.

Сдано в набор 09.08.2016. Подписано в печать 26.09.2016. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 8,86. Заказ IT1016. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-15565 от 02 июня 2003 г.

Оригинал-макет ООО "Авансд солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансд солюшнз".

119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.