

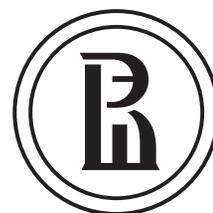
ISSN 1998-0663 (print), ISSN 2587-8166 (online)

English version: ISSN 2587-814X (print), ISSN 2587-8158 (online)

БИЗНЕС- ИНФОРМАТИКА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ НИУ ВШЭ

№3(45)-2018



Издатель:

Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

**Подписной индекс
в каталоге агентства
«Роспечать» – 72315**

Выпускается ежеквартально

*Журнал включен в Перечень
российских рецензируемых
научных журналов,
в которых должны быть
опубликованы основные научные
результаты диссертаций
на соискание ученых степеней
доктора и кандидата наук*

Главный редактор
А.О. Голосов

Заместители главного редактора
С.В. Мальцева
Е.А. Кучерявый

Компьютерная верстка
О.А. Богданович

Администратор веб-сайта
И.И. Хрусталева

Адрес редакции:

105187, г. Москва, ул. Кирпичная, д. 33

Тел./факс: +7 (495) 771-32-38

<http://bijournal.hse.ru>

E-mail: bijournal@hse.ru

За точность приведенных сведений
и содержание данных,
не подлежащих открытой публикации,
несут ответственность авторы

**При перепечатке ссылка на журнал
«Бизнес-информатика» обязательна**

Тираж:

*русскаяязычная версия – 300 экз.,
ангоязычная версия – 300 экз.,
онлайн-версии на русском и английском –
свободный доступ*

Отпечатано в типографии НИУ ВШЭ
г. Москва, Кочновский проезд, 3

© Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

СОДЕРЖАНИЕ

Информационные системы и технологии в бизнесе

Е.З. Зиндер

Направляемый ценностями
инжиниринг предприятий 7

Математические методы и алгоритмы бизнес-информатики

Г.Н. Жукова, М.В. Ульянов, М.И. Фомичев

Эффективный по времени точный
комбинированный алгоритм для
асимметричной задачи коммивояжера 20

Е.Н. Чуйкова, В.В. Галушка

Эвристический алгоритм формирования
термов числовой лингвистической переменной 29

Анализ данных и интеллектуальные системы

Н.Г. Азяби

Влияние потенциала и процессов управления
знаниями на эффективность малых
и средних предприятий 39

М.Б. Ласкин

Определение скидки на торг по рыночным
данным и кадастровой стоимости 53

Интернет-технологии

М.С. Токарева, К.О. Вишневский, Л.П. Чихун

Влияние технологий Интернета вещей
на экономику 62

О ЖУРНАЛЕ

«**Б**изнес-информатика» — рецензируемый междисциплинарный научный журнал, выпускаемый с 2007 года Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ). Администрирование журнала осуществляется школой бизнес-информатики НИУ ВШЭ. Журнал выпускается ежеквартально.

Миссия журнала — развитие бизнес-информатики как новой области информационных технологий и менеджмента. Журнал осуществляет распространение последних разработок технологического и методологического характера, способствует развитию соответствующих компетенций, а также обеспечивает возможности для дискуссий в области применения современных информационно-технологических решений в бизнесе, менеджменте и экономике.

Журнал публикует статьи по следующей тематике:

- ◆ анализ данных и интеллектуальные системы
- ◆ информационные системы и технологии в бизнесе
- ◆ математические методы и алгоритмы бизнес-информатики
- ◆ программная инженерия
- ◆ Интернет-технологии
- ◆ моделирование и анализ бизнес-процессов
- ◆ стандартизация, сертификация, качество, инновации
- ◆ правовые вопросы бизнес-информатики
- ◆ принятие решений и бизнес-интеллект
- ◆ моделирование социальных и экономических систем
- ◆ информационная безопасность.

В соответствии с решением президиума Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации журнал включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, по следующим группам научных специальностей: 05.13.00 — информатика, вычислительная техника и управление; 05.25.00 — документальная информация; 08.00.00 — экономические науки.

Журнал входит в базу Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), свидетельство ПИ № ФС77-66609 от 08 августа 2016 г.

Международный стандартный серийный номер (ISSN): 1998-0663 (на русском), 2587-814X (на английском).

Главный редактор: Голосов Алексей Олегович, кандидат технических наук, Президент компании «ФОРС — Центр разработки».

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Голосов Алексей Олегович
Компания «ФОРС – Центр разработки», Москва, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Мальцева Светлана Валентиновна
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Кучерявый Евгений Андреевич
Технологический университет Тампере, Тампере, Финляндия

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

Абдульраб Абиб
Национальный институт прикладных наук, Руан, Франция

Авдошин Сергей Михайлович
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Акопов Андраник Сумбатович
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Алескеров Фуад Тагиевич
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Афанасьев Александр Петрович
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН,
Москва, Россия

Афанасьев Антон Александрович
Центральный экономико-математический институт РАН,
Москва, Россия

Бабкин Эдуард Александрович
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Нижний Новгород, Россия

Баландин Сергей Игоревич
Ассоциация FRUCT, Хельсинки, Финляндия

Баранов Александр Павлович
Главный научно-исследовательский вычислительный центр
Федеральной налоговой службы, Москва, Россия

Барахнин Владимир Борисович
Институт вычислительных технологий СО РАН,
Новосибирск, Россия

Беккер Йорг
Университет Мюнстера, Мюнстер, Германия

Белов Владимир Викторович
Рязанский государственный радиотехнический университет,
Рязань, Россия

Вестнер Маркус
Регенсбургский университет прикладных наук, Регенсбург, Германия

Гаврилова Татьяна Альбертовна
Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

Глотен Эрве
Тулонский университет, Ла-Гард, Франция

Грибов Андрей Юрьевич
Компания «КиберПлат», Москва, Россия

Громов Александр Игоревич
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Гурвич Владимир Александрович
Ратгерский университет (Университет Нью-Джерси),
Ратгерс, США

Демидова Лилия Анатольевна
Рязанский государственный радиотехнический университет,
Рязань, Россия

Джейкобс Лоренц
Университет Цюриха, Цюрих, Швейцария

Дискин Иосиф Евгеньевич
Всероссийский центр изучения общественного мнения,
Москва, Россия

Ефимушкин Владимир Александрович
Центральный научно-исследовательский институт связи,
Москва, Россия

Зандкуль Курт
Университет Росток, Росток, Германия

Иванников Александр Дмитриевич
Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН,
Москва, Россия

Ильин Николай Иванович
Федеральная служба охраны Российской Федерации,
Москва, Россия

Исаев Дмитрий Валентинович
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Калягин Валерий Александрович
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Нижний Новгород, Россия

Кравченко Татьяна Константиновна
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Кузнецов Сергей Олегович
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Лугачев Михаил Иванович
Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Лин Квей-Жей
Технологический институт Нагои, Нагоя, Япония

Мейор Питер
Комиссия ООН по науке и технологиям, Женева, Швейцария

Миркин Борис Григорьевич
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Моттль Вадим Вячеславович
Тульский государственный университет, Тула, Россия

Назаров Дмитрий Михайлович
Уральский государственный экономический университет,
Екатеринбург, Россия

Пальчунов Дмитрий Евгеньевич
Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Россия

Пардалос Панайот (Панос)
Университет Флориды, Гейнсвилл, США

Пастор Оскар
Политехнический университет Валенсии, Валенсия, Испания

Посегга Йоахим
Университет Пассау, Пассау, Германия

Сюняев Али Рашидович
Технологический институт Карлсруэ, Карлсруэ, Германия

Таратухин Виктор Владимирович
Университет Мюнстера, Мюнстер, Германия

Триболе Жозе
Университет Лиссабона, Лиссабон, Португалия

Ульянов Михаил Васильевич
Институт проблем управления им В.А. Трапезникова РАН,
Москва, Россия

Ускенбаева Раиса Кабиевна
Международный университет информационных технологий,
Алматы, Казахстан

Цуканова Ольга Анатольевна
Санкт-Петербургский национальный исследовательский
университет информационных технологий, механики и оптики,
Санкт-Петербург, Россия

Чхартишвили Александр Гедewanович
Институт проблем управления им В.А. Трапезникова РАН,
Москва, Россия

Шмидт Юрий Давыдович
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Штраус Кристина
Университет Вены, Вена, Австрия

ISSN 1998-0663 (print), ISSN 2587-8166 (online)

English version: ISSN 2587-814X (print), ISSN 2587-8158 (online)

BUSINESS INFORMATICS

HSE SCIENTIFIC JOURNAL

CONTENTS

Information systems and technologies in business

E.Z. Zinder

Values-directed enterprise engineering 7

Mathematical methods and algorithms of business informatics

G.N. Zhukova, M.V. Ulyanov, M.I. Fomichev

Exact time-efficient combined algorithm
for solving the asymmetric traveling
salesman problem 20

E.N. Chujkova, V.V. Galushka

A heuristic algorithm for generating the numerical
terms of a linguistic variable 29

Data analysis and intelligence systems

N.G. Azyabi

The impact of knowledge management capabilities
and processes on SME performance 39

M.B. Laskin

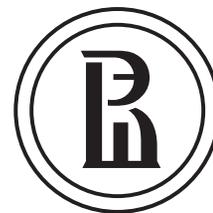
Determination of the trading discount based
on market data and cadastral value 53

Internet technologies

M.S. Tokareva, K.O. Vishnevskiy, L.P. Chikhun

The impact of the Internet of Things
technologies on economy 62

№3(45)-2018



Publisher:

National Research University
Higher School of Economics

**Subscription index
in the Rospechat catalog –
72315**

The journal is published quarterly

*The journal is included
into the list of peer reviewed
scientific editions established
by the Supreme Certification
Commission of the Russian Federation*

Editor-in-Chief:

A. Golosov

Deputy Editor-in-Chief

S. Maltseva

Y. Koucheryavy

Computer Making-up:

O. Bogdanovich

Website Administration:

I. Khrustaleva

Address:

33, Kirpichnaya Street, Moscow,
105187, Russian Federation

Tel./fax: +7 (495) 771-32-38

<http://bijournal.hse.ru>

E-mail: bijournal@hse.ru

Circulation:

*English version – 300 copies,
Russian version – 300 copies,
online versions in English and Russian –
open access*

Printed in HSE Printing House
3, Kochnovsky Proezd, Moscow,
Russian Federation

© National Research University
Higher School of Economics

ABOUT THE JOURNAL

Business Informatics is a peer reviewed interdisciplinary academic journal published since 2007 by National Research University Higher School of Economics (HSE), Moscow, Russian Federation. The journal is administered by School of Business Informatics. The journal is published quarterly.

The mission of the journal is to develop business informatics as a new field within both information technologies and management. It provides dissemination of latest technical and methodological developments, promotes new competences and provides a framework for discussion in the field of application of modern IT solutions in business, management and economics.

The journal publishes papers in the areas of, but not limited to:

- ◆ data analysis and intelligence systems
- ◆ information systems and technologies in business
- ◆ mathematical methods and algorithms of business informatics
- ◆ software engineering
- ◆ Internet technologies
- ◆ business processes modeling and analysis
- ◆ standardization, certification, quality, innovations
- ◆ legal aspects of business informatics
- ◆ decision making and business intelligence
- ◆ modeling of social and economic systems
- ◆ information security.

The journal is included into the list of peer reviewed scientific editions established by the Supreme Certification Commission of the Russian Federation.

The journal is included into Russian Science Citation Index (RSCI) database on the Web of Science platform.

International Standard Serial Number (ISSN): 2587-814X (in English), 1998-0663 (in Russian).

Editor-in-Chief: Dr. Alexey Golosov – President of FORS Development Center, Moscow, Russia.

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF

Alexey Golosov

FORS Development Center, Moscow, Russia

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Svetlana Maltseva

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Yevgeni Koucheryav

Tampere University of Technology, Tampere, Finland

EDITORIAL BOARD

Habib Abdulrab

National Institute of Applied Sciences, Rouen, France

Sergey Avdoshin

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Andranik Akopov

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Fuad Aleskerov

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Alexander Afanasyev

Institute for Information Transmission Problems (Kharkevich Institute), Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Anton Afanasyev

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Eduard Babkin

National Research University Higher School of Economics, Nizhny Novgorod, Russia

Sergey Balandin

Finnish-Russian University Cooperation in Telecommunications (FRUCT), Helsinki, Finland

Vladimir Barakhnin

Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Alexander Baranov

Federal Tax Service, Moscow, Russia

Jörg Becker

University of Munster, Munster, Germany

Vladimir Belov

Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russia

Alexander Chkhartishvili

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Vladimir Efimushkin

Central Research Institute of Communications, Moscow, Russia

Tatiana Gavrilova

Saint-Petersburg University, St. Petersburg, Russia

Hervé Glotin

University of Toulon, La Garde, France

Andrey Gribov

CyberPlat Company, Moscow, Russia

Alexander Gromoff

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Vladimir Gurvich

Rutgers, The State University of New Jersey, Rutgers, USA

Laurence Jacobs

University of Zurich, Zurich, Switzerland

Liliya Demidova

Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russia

Iosif Diskin

Russian Public Opinion Research Center, Moscow, Russia

Nikolay Ilyin

Federal Security Guard of the Russian Federation, Moscow, Russia

Dmitry Isaev

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Alexander Ivannikov

Institute for Design Problems in Microelectronics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Valery Kalyagin

National Research University Higher School of Economics, Nizhny Novgorod, Russia

Tatiana Kravchenko

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Sergei Kuznetsov

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Kwei-Jay Lin

Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan

Mikhail Lugachev

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Peter Major

UN Commission on Science and Technology for Development, Geneva, Switzerland

Boris Mirkin

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Vadim Mottl

Tula State University, Tula, Russia

Dmitry Nazarov

Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

Dmitry Palchunov

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Panagote (Panos) Pardalos

University of Florida, Gainesville, USA

Óscar Pastor

Polytechnic University of Valencia, Valencia, Spain

Joachim Posegga

University of Passau, Passau, Germany

Kurt Sandkuhl

University of Rostock, Rostock, Germany

Yuriy Shmidt

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Christine Strauss

University of Vienna, Vienna, Austria

Ali Sunyaev

Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany

Victor Taratukhin

University of Munster, Munster, Germany

José Tribolet

Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

Olga Tsukanova

Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia

Mikhail Ulyanov

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Raissa Uskenbayeva

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

Marcus Westner

Regensburg University of Applied Sciences, Regensburg, Germany

Направляемый ценностями инжиниринг предприятий¹

Е.З. Зиндер

Председатель правления НКО «Фонд поддержки системного проектирования, стандартизации и управления проектами» (Фонд «ФОСТАС»)

Адрес: 107061, г. Москва, а/я 563

E-mail: ezinder@fostas.ru

Аннотация

В статье представлен подход к совершенствованию инжиниринга предприятий (ИП) в современных условиях за счет включения в него возможностей систематической поддержки принятия решений на основе анализа ценностей предприятия и всего множества заинтересованных сторон – стейкхолдеров разных категорий. Особенностью подхода является сочетание широкой трактовки ценностей, ориентации на реальные бизнес-задачи всех уровней управления предприятием, включения в эти задачи риск-менеджмента цифровых трансформаций.

Подход включает использование как «аналоговых», так и «цифровых» моделей ценностей, а также работу с моделями неоднородных ценностей. При этом ценности рассматриваются как социальный и экономический, корпоративный и персональный феномен. Учитываются субъективность, ситуативность, относительность и изменчивость ценностей. Предлагается совместное рассмотрение гетерогенных ценностей разных стейкхолдеров (заинтересованных сторон), в том числе, затрагиваемых цифровыми трансформациями. В число учитываемых стейкхолдеров могут входить: само предприятие как экономический агент, его владельцы, сотрудники, предприятия-партнеры, клиенты, сообщества и общественные организации, государственные органы. Одним из ключевых является требование сравнимости ценностей и возможности определения разрыва между ценностями разных стейкхолдеров. Другие требования определяют устройство моделей ценностей и свойства их элементов.

Разработанная система требований – один из основных результатов исследования. Также предложена структура открытого многомерного пространства ценностей предприятия и помещаемых в него частных и интегрированных моделей ценностей. Определена схема прослеживания связей компонент предприятия с ценностями стейкхолдеров, показана возможность введения функций на интегрированной модели ценностей предприятия, позволяющих оценивать соответствие или несоответствие ценностей разных сторон. Представленная система требований и моделей позволяет строить и практически использовать модели ценностей, что было проверено в конкретных проектах. Подход позволяет на фундаментальном уровне обеспечивать устойчивое развитие предприятий в условиях цифровой экономики за счет управления, направляемого ценностями. Он может быть полезным и для того, чтобы расширять различные методики трансформации предприятий, в том числе, их существующие ценностно-ориентированные и ценностно-центрические варианты.

Ключевые слова: инжиниринг предприятия; цифровая трансформация; ценности; модель ценностей; риск-менеджмент; пространство ценностей; направляемый ценностями инжиниринг предприятия; цифровая модель ценностей; аналоговая модель ценностей.

Цитирование: Зиндер Е.З. Направляемый ценностями инжиниринг предприятий // Бизнес-информатика. 2018. № 3 (45). С. 7–19. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.3.7.19.

¹ Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-07-01062 «Разработка методов и средств инжиниринга предприятий на основе интеллектуальных технологий»)

Введение

Дискуссии о понятии «цифровая экономика» и рекомендации «цифровых трансформаций» (ЦТ) [1] соседствуют с сообщениями о взломах систем, объявленных ранее неуязвимыми, об ограниченности сервисов искусственного интеллекта и о бизнес-моделях, запрещаемых в судебном порядке [2]. Эта турбулентность заставляет искать подходы к сохранению ценных качеств предприятий в изменяющихся условиях, в частности, при выполнении ЦТ. Данная публикация предлагает подход к развитию инжиниринга предприятий (ИП), который направлен на устойчивость развития предприятия и позволяет реализовывать и расширять различные варианты методик трансформации предприятий. Это относится, в частности, к уже известным методикам, получившим название ценностно-ориентированных (например, [3; 4]) и ценностно-центрических (например, [5; 6]). Этот подход опирается на широкое понимание ценностей в противовес его подчинению какой-либо одной частной теории, нацелен на решение широкого круга деловых задач, включая задачи ЦТ и устойчивого развития, а также задачи управления рисками трансформаций предприятий и общества в турбулентной среде цифровой экономики. Для практической поддержки этого подхода предложены метамоделю для «аналоговых» и «цифровых» моделей ценностей, указаны направления и примеры их использования. Далее этот подход будет называться «Направляемый ценностями инжиниринг предприятий». Представляется, что это название отвечает важнейшей всепроникающей роли ценностей в социально-экономических, организационно-управленческих, производственных и даже биоинформационных [7; 8] процессах.

Далее статья имеет следующую структуру. В первом разделе излагаются основания и назначение данной работы, а также формулируется основное требование R1 к моделированию ценностей. Второй раздел описывает особенности ценностей как феномена и их использования в бизнес-задачах предприятий, фиксирует необходимость в более содержательных моделях ценностей, чем применяемые во многих работах по ИП, предлагает рабочее определение ценностей и формулирует соответствующие требования R2–R5. Третий раздел определяет требования R6–R9 к отдельным свой-

ствам и элементам моделей ценностей, в том числе, к их формализации. Четвертый раздел предлагает вариант обобщенной структуры моделей ценностей, которая соответствует требованиям R1–R9, многомерное открытое пространство ценностей предприятия (open enterprise values space, OEVS), правила формализации открытой интегрированной модели ценностей (open integrated values model, OIVM) предприятия и его стейкхолдеров. В заключении обсуждаются некоторые возможности использования предложенных правил и моделей, а также направления дальнейших исследований и разработок.

Примечание: «Стейкхолдер» (stakeholder) в данной статье обозначает заинтересованную сторону (interested party, acting entity, subject, person) любого типа, связанную с рассматриваемым предприятием и его ЦТ, включая само предприятие как экономический агент.

1. Истоки данной работы и основное требование к моделям ценностей

Упомянутая во Введении турбулентность среды цифровой экономики ранее побудила опубликовать наш анализ ситуации с развитием концепций и основных методов ИП [9], который показал, что существующая парадигма ИП сохраняет свою работоспособность в условиях радикальных изменений организационных структур, коммуникаций и рабочих процессов. Предположительно причина этого состоит в том, что сохраняются базовые свойства предприятия – назначение (миссия) и ответственность за выпуск какого-либо продукта (услуги). В то же время новые возможности ЦТ требуют более внимательно следить за главными ориентирами развития предприятий, а также больше внимания уделять угрозам на этом пути – как описанным в литературе [1; 10; 11], так и еще неизвестным. Потребность в конкретных способах реализации этих требований вызвала серию дополнительных исследований и стала предпосылкой данной публикации.

Ранее нами были описаны дополнительные исследования и их основные рекомендации для следующих областей:

- ◆ непрерывное стратегическое и тактическое управление предприятием [12];
- ◆ менеджмент знаний для динамично меняющихся сетевых бизнес-процессов и процессов сотрудничества и сотворчества [13];

♦ риск-менеджмент в проектах ЦТ предприятий [14]².

В каждом из этих исследований обнаруживалось, что ценности индивидов, их сообществ и организаций играют важную или даже ведущую роль в качестве ориентиров развития и критериев принятия решений в самых разных ключевых задачах ИП, включая решения в повседневной деятельности предприятия. При этом ценности рассматриваются в широкой и детальной трактовке, включающей гуманитарные и экономические аспекты, поскольку работа с этими ориентирами требует комплексного анализа всех важных аспектов устройства и деятельности предприятия.

В связи с этим, а также в связи с указанной в подразделе 2.1 ограниченностью моделей ценностей и их применения в известных формализациях ИП, автором проведен анализ ценностей как феномена, рассмотрены области применения описаний ценностей на предприятиях, сформулирован набор требований к моделям ценностей, связанным с предприятием, а также определен конструктивный подход к формализованному моделированию ценностей и их систем. Основное требование к моделям ценностей таково:

R1. *Модели ценностей должны быть применимы для комплексного определения и контроля ориентиров развития предприятия, а также управления возникающими рисками, в том числе, в проектах ЦТ и в ходе функционирования трансформированных предприятий.*

2. Анализ феномена ценностей и требования к их моделированию

2.1. Ценность как феномен и основания для формализации моделей ценностей

Анализ ценностей имеет большую историю [15]. Мы используем уроки этой истории и переходим к сегодняшним задачам, объединяя различные взгляды на ценности, рассматривая их как социальный, экономический, корпоративный и персональный феномен.

Работа с ценностями в широкой их трактовке при формировании корпоративной культуры давно во-

шла в практику и излагается на уровне учебников [16]. Однако значительное продвижение в структуризации, сравнении и формализации моделей ценностей до сих пор наблюдалось при работе с ценностью как стоимостью, либо как со свойством, вполне выразимым в форме денежных потоков [17; 18], чего недостаточно для выполнения требования R1.

Важность использования ценностей как ориентира в ИП признается многими авторами [3–6; 19]. Однако в известных попытках формализации ценностей в ИП применяются их трактовки, очень сильно ограничивающие реальный феномен. Так, работы [3; 19] изначально рассматривают ценности с позиций лишь одной теории ИП, а не с позиций их изучения в реальной практике жизни предприятий с последующим включением результатов изучения в теорию ИП. При этом модель ценности представляется предельно упрощенной и используется в основном для отражения актов обмена между акторами. Подход, принятый в работе [4] в большей степени учитывает разные точки зрения на ценности, в том числе, их немонетарные и эмоциональные категории, и предлагает метамодель ценности, учитывающую ценности акторов разных типов. Однако в контексте требования R1 эта модель также оказывается слишком бедной. В частности, рассматриваются стейкхолдеры только двух типов (поставщика услуги и ее заказчика), а связь между ними отображает только тип их взаимодействия в стиле сотворчества. Можно считать, что в этих случаях модели ценностей не рассчитаны на решение широкого круга бизнес-задач, в которых важную роль играют ценности общественных и гуманитарных категорий.

Полноценная работа с общественными и гуманитарными ценностями оказывается более сложной. По этой причине развиваются специфические методы и подходы, например, «Управление на основе ценностей» (management by values) [20], которые расширяют сложные схемы управления разного масштаба включением ценностей гуманитарного характера — вплоть до высших духовных ценностей [21]. Одновременно с этим возникают предложения трансформировать комплекс ценностей разных типов в некоторую экономическую сущность, отра-

² Публикация [14], в частности, базируется на работах автора 2012-2018 года, в которых сочетались анализ рисков и методов риск-менеджмента при применении новых технологий с систематическим обсуждением этих рисков и методов в разных проектах и профессиональных группах. В 2017 году такие риски и методы обсуждались, в частности, на видеоканале «Cyber-tech» (<https://www.youtube.com/watch?v=6KTG9brsiNU&feature=youtu.be>) и на круглом столе «Risk management in the digital age» (Болгария, г. Пловдив, 23 ноября 2017 г.)

жающую устойчивость предприятия [5], поскольку предполагается, что лишь в этом случае можно мотивировать бизнес на полезные изменения. Вместе с тем остается актуальным использование неформализованных, «аналоговых» моделей ценностей для разных категорий стейкхолдеров и их применение в самых разных бизнес-задачах, в том числе, отличных от задач обмена ценностями, в частности, в задачах риск-менеджмента [6].

В целом, в настоящее время отсутствует общепринятая, достаточно полная и, по крайней мере, частично формализованная метамодель ценностей, а сравнение ценностей остается очень сложным из-за наличия множества противоречивых подходов к интерпретации самого понятия ценности.

В то же время, большой объем неформализованных моделей накоплен в рамках аксиологии, в том числе, моделей, фиксирующих разные аспекты ценностей [22; 23]. Эти модели важны, поскольку практически любой аспект может оказаться важным для решения конкретной бизнес-задачи. Однако попытки непосредственного использования ценностей в тех формах, в которых они обычно представляются, наталкиваются на большую проблему многообразия проявлений ценностей. В конкретных ситуациях ценностью может признаваться любое свойство материальной или идеальной сущности, ценности могут делиться на ценности-инструменты (средства) и ценности-цели, а также на многие другие категории [16], по-разному упорядочиваться по приоритетности, причем такие оценки весьма субъективны и изменчивы. В результате важнейшим свойством существующей ситуации является признание субъективности, ситуативности, относительности и изменчивости ценностей различных взаимосвязанных сторон – стейкхолдеров предприятия. В частности, отмечается экстремально высокий уровень изменений картины мира и тот факт, что эти изменения оказывают критическое влияние на изменчивость ценностей. Так, в исследовании [24] показано, что для новых поколений это приводит к инвертированию систем ценностей относительно тех, которые совсем недавно считались общепринятыми.

В целом, как сообщает «Новая философская энциклопедия» [22], существует «методологический хаос, который царит в определениях самого понятия «ценность» и трактовке ценностных отно-

шений». Однако представляется, что этот хаос означает лишь то, что унитарные модели ценностей, структурированные и упорядоченные каким-либо одним образом, как это делалось ранее, непригодны для достижения определенных нами выше комплексных целей. Прагматичные способы построения и применения моделей ценностей должны работать в реальных «хаотических» условиях, оставаясь при этом понятными разным людям и включаясь в контекст «цифровой жизни» предприятий, что приводит к требованию R2:

R2. *Необходимо сочетать построение и использование моделей ценностей как «аналогового» типа, т.е. ориентированных на традиционные («ручные») способы их применения на предприятиях, так и «цифрового» типа, т.е. формализованных для возможности их программной обработки в компьютеризированной («цифровой») информационной среде предприятий; при этом своим содержанием (семантикой) «аналоговые» и «цифровые» модели одной конкретной ценности не должны противоречить друг другу.*

2.2. О роли общих высших ценностей и рабочем определении ценностей

Признание разными стейкхолдерами существования и общей интерпретации некоторых ценностей наивысшего порядка дает фундамент для решения многих практических задач, в том числе, для выработки компромиссов в случаях, когда другие общие толкования ценностей отсутствуют, а также для формирования следующего рабочего определения ценности:

«Ценность понимается как благо для индивида, группы, предприятия и/или общества в смысле движения по направлению к высшим ценностям или в смысле защиты от сдвига в обратном направлении».

Эта и подобные интерпретации обсуждались в разных аудиториях. Очень важными были обсуждения с Гуруматой Дарией Рахи, главой международного отдела ашрама «Atma Kutir»³. Благо обсуждалось в двух воплощениях – как высокая этическая категория и как прогресс в этой категории в повседневной жизни, включая деятельность предприятий. Учитывался субъективный характер оценки блага, в связи с чем обсуждались необходимость и способы выполнения экспертных оценок достижения блага и его относительной величины.

³ Сведения об ашраме «Атма Кутир» (Garval Himalaya, India) доступны на сайте <http://atmakutir.blogspot.ru>

Автор в полной мере осознает, что интерпретации высших ценностей разных стейкхолдеров могут очень сильно противоречить друг другу. Вместе с тем, наше время показывает и вполне реальные возможности для сильного сближения позиций, даже в сфере различных этических и духовных учений. Это вызвано осознанием роста многих общих угроз (экологических, технологических, других). Отчет [11] показывает, что сегодня и в ближайшем будущем универсальные высшие ценности предельно необходимы, чтобы фокусироваться на благе для всего живущего и мира в целом. Отсюда вытекает следующее требование:

R3. *Подход, используемый для моделирования ценностей, должен предусматривать возможность охвата высших ценностей, которые актуальны в качестве общих ценностей на данном историческом этапе.*

2.3. Ориентация моделей ценностей на решение бизнес-задач

Свойства деталей моделей ценностей выводятся из понимания того, что требуется от этих моделей при решении широкого круга практических задач ИП и ЦТ. В данной работе были рассмотрены требования, индуцируемые двумя примерами групп бизнес-задач трансформации и функционирования предприятий. Далее они были обобщены для расширения на другие задачи и сформулированы как требования R4 и R5.

Первый пример включает типичные бизнес-задачи разных масштабов:

- ◆ формирование стратегии развития предприятия, включая сравнение разных вариантов ЦТ;
- ◆ поиск будущих продуктов (услуг) предприятия на основе прогнозов перспективных ценностей клиентов и перспективных технологий;
- ◆ тестирование кандидатов (для найма на работу) на соответствие их ценностей-инструментов тем, которые нужны для выполнения определенных работ.

Второй пример относится к использованию моделей ценностей в области риск-менеджмента, на важность чего указывалось в работе [6]. Для области ЦТ в работе [14] предложен подход, который опирается на следующие задачи и действия:

- ◆ архитектурный анализ предприятия и нахождения связей компонент предприятия с ценностями,

которые эти компоненты реально поддерживают (т.н. прослеживаемость, но не столько к декларируемому, сколько к реальным ценностям);

- ◆ сравнение этого набора ценностей с системами ценностей стейкхолдеров (в том числе, клиентов и работников предприятия) и определение соответствий и возможных противоречий.

В обоих примерах для решения указанных задач требуется сравнение ценностей разных стейкхолдеров и, в некоторых случаях, достижение компромисса на основе сближения ценностей. Для этого необходимо использовать сравнимые модели ценностей разных стейкхолдеров, в частности, с тем, чтобы оценить соответствие ценностей стейкхолдеров, планирующих ЦТ, ценностям других стейкхолдеров. Это отражается требованиями R4 и R5:

R4. *Набор моделей ценностей для предприятия должен отражать набор потенциально гетерогенных ценностей для всех стейкхолдеров, в том числе, затрагиваемых ЦТ; в их число входят: предприятие как агент экономики, его владельцы, сотрудники, партнеры, клиенты, общественные организации и государственные органы.*

R5. *При решении задач предприятия целесообразно определять и использовать одно пространство размерностей для всех, возможно гетерогенных моделей ценностей стейкхолдеров разных типов, соответствующее широкому кругу выделенных бизнес-задач. Это пространство должно поддерживать определение сравнимости ценностей и возможность их сравнения на отношение «больше—меньше».*

Пространство размерностей, упомянутое в требовании R5, назовем «открытым пространством ценностей предприятия» (open enterprise values space, OEVS).

3. Требования к устройству и элементам моделей ценностей

3.1. Прослеживаемость компонент архитектуры предприятия к ценностям

Фактические ценности, создаваемые компонентами предприятия, их трансформациями и предприятием в целом, необходимо сравнивать с ценностями стейкхолдеров предприятия. Для этого, в свою очередь, требуется обеспечить прослеживаемость⁴ связей между компонентами архитектуры

⁴ Термины «прослеживаемость» и «прослеживание» понимаются близко к трактовке терминов «traceability» и «tracing», используемой в ISO/IEC 15288 Системная и программная инженерия — Процессы жизненного цикла систем

предприятия (включая его поведение) и моделями ценностей предприятия и его стейкхолдеров, входящими в открытую интегрированную модель ценностей (open integrated values model, OIVM). Это приводит к требованиям R6 и R7:

R6. *Интегрированная модель ценностей предприятия должна допускать прослеживаемость связей между любым компонентом архитектуры предприятия через цели предприятия (или пропуска цели) и моделями ценностей стейкхолдеров.*

R7. *Сравнимые модели ценностей должны иметь однотипные измеримые элементы для сравнения ценностей различных стейкхолдеров и поддержки выполнения задач ИП и ЦТ; значения этих элементов должны определяться одинаковыми или совместимыми метриками; их сравнение должно выполняться на совпадение / не совпадение и на отношение «больше–меньше»; при возможности должна вычисляться величина различий.*

Для прослеживания, указанного в требовании R6, мы используем расширенную пятимодельную схему ЦТ, предложенную в работе [9]. В таблице 1 показана концепция взаимосвязи между, с одной стороны, предлагаемыми моделями (строка «1») частичных ценностей (столбец «1») и интегрированной их моделью (столбец «2») и, с другой стороны, архитектурными компонентами пятимодельной схемы функциональной архитектуры, которая включает сервисы или платформы для бизнес-функций (строка «3») и их бизнес-назначение в терминах поддерживаемых целей (строка «2»).

В этой таблице и в дальнейшем тексте используются обозначения:

v_{qn} – конкретная ценность для стейкхолдера s_q из множества S всех стейкхолдеров предприятия;

OIVM – Open Integrated Values Model: открытая интегрированная модель ценностей, которая вклю-

чает все существенные v_{qn} , связанные с предприятием;

c_t и c_p – архитектурные модели высокого уровня для конкретных компонент предприятия;

OICA – Open Integrated Component Architecture: открытая интегрированная компонентная архитектура, которая объединяет все компоненты предприятия c_t (в первую очередь, бизнес-функции и поддерживающие их цифровые сервисы и платформы) и их отношения.

3.2. О гетерогенности ценностей разных стейкхолдеров

Субъективность и ситуативность ценностей приводит к тому, что две ценности одного вида, схожие и называемые одинаково двумя стейкхолдерами, могут быть несравнимы друг с другом из-за разного их содержания, например, если стейкхолдеры находятся в разных социальных средах или всего лишь принадлежат к разным поколениям.

Пример: Различные формы интереса к одному виду ценностей в цифровом обществе. Общая ценность «Престиж» (уровня 4 «Уважение», согласно [25]) может быть интересна в форме «Престиж как h -индекс цитирования» и (для других или тех же условий и/или демографических групп) – в форме «Престиж как число «лайков» и «фолловеров» в социальных сетях». Эти две ценности «Престиж» формально несравнимы в указанных двух формах интереса, поскольку их числовые значения определяются на разных исходных областях определения.

Примечание: Обе такие формы интереса могут быть использованы одним стейкхолдером как две разные конкретные ценности одного вида.

Другой пример. «Верность своему патрону и социальной группе (слою)» – важная ценность в

Таблица 1.

Фреймворк прослеживания связей между компонентами пятимодельной схемы трансформации предприятия и моделями ценностей

	1. Для одного стейкхолдера или одной компоненты предприятия	2. Для интегрированного представления предприятия
1. Ценности (см. раздел 2)	Модель ценности v_{qn} для стейкхолдера s_q	OIVM = $\{v_{qn}\}$
2. Цели (см. [9], рис. 1)	Бизнес-цели и индикаторы целей, достигаемые посредством конкретной системы или компоненты ЦТ	Интегрированная система бизнес-целей и индикаторов, ее связи с OIVM и OICA
3. Компоненты предприятия / его ЦТ (см. [9])	Модель c_t компоненты предприятия или ЦТ	OICA = $\{c_t; c_t \times c_p \mid p \neq t\}$

среде «Абсолютистская монархия с иерархией покровителей», но она может не признаваться как ценность или даже иметь отрицательную ценность для среды «Либеральная демократия с рыночной экономикой».

Эти примеры показывают, что для того, чтобы быть сравнимыми, две ценности должны относиться к одной области определения значений, определяемой набором одинаковых категорий ценностей, в приведенных примерах – к ценностям одной социально-экономической среды, одной категории потребностей и одной формы интереса. Сказанное позволяет сформулировать требование R8:

R8. *Модели ценностей должны включать элементы, показывающие принадлежность ценностей к конкретным областям их определения, а OEVS должно содержать размерности, задающие те категории ценностей, их среды и формы, которые идентифицируют эти области определения. Указанные размерности должны обеспечивать возможность проверки пары ценностей разных стейкхолдеров на их принадлежность к одной области определения и, тем самым, на их потенциальную сравнимость и однородность в этом смысле.*

3.3. Метрики значений ценностей

Сравнимые модели ценностей, имеющие одну область определения ценности, могут различаться по уровню реализации данного конкретного вида ценности и формы интереса для нее. Например, по значению *h*-индекса цитирования, индекса информационной безопасности, уровню ответственности компании (или ее работника), и т.д.

Условным примером может служить обобщенная ценность-инструмент «Способность делать нечто» и уровни реализации этой способности, например: 1 – «нет способности», 2 – «ограниченная способность», 3 – «способность для большинства ситуаций», 4 – «высшая способность». Подобные метрики являются обычными при выполнении качественных оценок состояния разных объектов. С учетом требований R7 и R8 это выражается посредством требования R9:

R9. *Для каждой области определения ценностей одного вида и одной формы интереса необходимо разрабатывать метрику уровня реализации конкретных ценностей, отражающую по возможности упорядоченные значения ценности с точки зрения стейкхолдеров, определяющих и выражающих эти ценности.*

Примечания:

1) Метрикой может быть шкала качественных уровней, натуральный показатель значения уровня, композитный индекс, и т.п., вместе с правилами измерения уровня реализации ценностей в данной метрике и правилами сравнения разных ценностей в данной метрике.

2) Во многих случаях именно различие уровней реализации двух ценностей одного вида и формы интереса приводит к конфликту ценностей и, соответственно, компонент предприятия или решений, поддерживающих этот вид и форму ценности.

4. Конкретизация и формализация структуры моделей ценностей и пространства ценностей

Изложенные выше требования и правила описания моделей ценностей, как и предложенные ниже в подразделе 4.1, могут использоваться в стиле «как есть» в качестве метамодели для получения текстовых и минимально структурированных «аналоговых» моделей ценностей. Вместе с тем, формальное описание пространства ценностей OEVS по схеме, изложенной в подразделах 4.1 и 4.2, задает метамодель конкретных формализованных «цифровых» моделей ценностей, поскольку в этом случае модели ценностей рассматриваются как точки в OEVS и должны формироваться в соответствии с его размерностями и другими определенными требованиями.

4.1. Частичные модели ценностей в качестве основы для размерностей OEVS

С целью выполнения требования R8 размерности OEVS можно задавать наборами категорий, позволяющих на практике фиксировать области определения значений ценностей. Ниже представлен возможный вариант совокупности таких категорий-детерминант для задания размерностей:

- ◆ категории (уровни) потребностей стейкхолдеров;
- ◆ категории (уровни) внешних условий стейкхолдеров как социально-экономических сред их существования;
- ◆ категории способов поведения стейкхолдеров во внешней среде;
- ◆ виды ценностей стейкхолдеров и значения уровней их реализации в соответствии с требованиями R7 и R9;

♦ формы интереса для ценностей конкретного вида.

Вид ценности традиционно задается ее общепринятым коротким названием (например, здоровье, честность, ответственность, качество работы), а также ее содержательным описанием. Формы интереса для конкретных представлений ценности сильно зависят от вида ценностей, а также могут зависеть от областей определения в других размерностях OEVS.

Предложенный ниже вариант OEVS основан на категориях-детерминантах, которые явно или неявно предложены в частных моделях [25–27] и их расширениях. Именно эти модели выбраны для излагаемого варианта OEVS по причине их достаточно широкого распространения в течение значительного времени, а также благодаря возможностям их расширения и адаптации.

С целью выполнения требования R8 для одновременного охвата ценностей разных стейкхолдеров OEVS должно также обладать размерностью $S = \{s_q\}$, где s_q обозначает координату конкретного стейкхолдера в пространстве OEVS.

Использование модели Маслоу. Для модели А. Маслоу [25] признаются относительность и изменчивость порядка уровней «потребности / ценности», возникающие из-за разных приоритетов в удовлетворении потребностей у разных стейкхолдеров. Учитывается расширение [28], которое включает дополнительные уровни потребностей – познавательные, эстетические, ценности самореализации и трансцендентные ценности, в том числе альтруистические. Альтруистические ценности могут быть приняты в качестве вида наивысших ценностей, указанных в R4. Эта модель используется в OEVS как основа размерности $M = \{m_i\}$, где m_i – уровень в «расширенной пирамиде Маслоу».

Для конкретной бизнес-задачи размерность M может быть детализирована определением подуровней для m_i . Также для частных условий и задач на M можно вводить то или иное отношение порядка (например, оригинальный порядок Маслоу или инвертированный порядок аналогично [24]).

Использование модели Грейвса. Модель («открытая теория») К. Грейвса [26] применяется как в исходной (с нашей точки зрения, упрощенной), так и в расширенной версиях. В упрощенной версии эта модель используется в соответствии с ее исходной схемой как упорядоченная последова-

тельность уровней развития социально-экономической среды, объединенных с типом поведения стейкхолдеров, определяемым как «рациональное» для этой среды. С тем, чтобы соответствовать описанным нами бизнес-задачам, в основном используются уровни среды с кодами DQ, ER, FS по Грейвсу. Такая модель используется в OEVS как основа размерности $G = \{g_e\}$, где g_e – уровень развития окружающей среды и поведения стейкхолдера в ней.

В расширенной версии учитывается, что среда и поведение в ней могут не соответствовать друг другу способом, определенным в [26] (индивид может выбрать нерациональный, по оценке [26], тип поведения). С учетом этого, такая версия частичной модели индуцирует два измерения OEVS:

♦ размерность $G = \{g_e\}$, где g_e – уровень развития среды;

♦ размерность $B = \{b_h\}$, где b_h – уровень поведения стейкхолдеров.

Использование модели Шварца. Для каждой ценности в OEVS нужно обеспечить соединение указанных выше уровней m_i , g_e и b_h с описанием ценности определенного вида. Указанное описание расширяется фактической формой интереса для конкретного представления ценности и измеряемым уровнем реализации ценности в этой форме. Это расширенное описание в сочетании со шкалами уровней реализации ценностей используется как основа агрегированной размерности SH для описания ценностей в OEVS.

В излагаемой версии OEVS модель («теория базовых ценностей») Ш. Шварца [27], расширенная и дополненная вышеупомянутым методом, является основой агрегированного измерения $SH = \{sh_{ijk}\}$, где sh_{ijk} представляет собой совокупность следующих элементов:

♦ идентифицирующее общепринятое название вида ценности (например, «масштаб ответственности за работу») и его обобщенное описание;

♦ форма интереса (в этом примере – фиксация наличия у стейкхолдера свойства ответственности за работу, выраженная одним из словесных описаний, предусмотренных для этого вида и формы);

♦ номер уровня из шкалы уровней реализации ценности этого вида и формы с содержательной интерпретацией уровней (в этом примере – номер уровня шкалы ответственности за работу со словесным описанием свойств ответственности этого уровня).

4.2. Модели ценностей и открытое пространство ценностей предприятия. Открытая интегрированная модель ценностей и метрики ценностей

Ниже представлены варианты пространства ценностей OEVS и модели ценностей для всего предприятия OIVM на основе версии структуризации и формализации моделей ценностей, описанной в подразделе 4.1.

Открытое пространство ценностей предприятия OEVS и модели ценностей. OEVS образовано множеством точек v – потенциальных ценностей с координатами:

♦ в упрощенной версии $v = (s_q, m_p, g_e, sh_{jrk})$, которая обеспечивает возможность создания наглядных иллюстраций,

♦ в варианте $v = (s_q, m_p, g_e, b_n, sh_{jrk})$, с потенциальным увеличением числа измерений до шести или семи в случае расщепления SH-размерности.

Здесь каждая ценность v_{qn} , где $n = \{1, \dots, N_q\}$, N_q – число различных ценностей стейкхолдера s_q из множества стейкхолдеров S , представляется точкой v с координатами, указанными выше.

Открытая интегрированная модель ценностей предприятия OIVM. Набор ценностей стейкхолдера s_q из множества S формируется как его система ценностей $V_q = \{v_{qn}\}$, где $n = \{1, \dots, N_q\}$, N_q – количество различных ценностей этого стейкхолдера.

Открытая интегрированная модель ценностей (OIVM) предприятия определяется как набор отобранных в качестве существенных моделей ценностей стейкхолдеров предприятия и его ЦТ (включая клиентов как часть экосистемы предприятия).

Таким образом, $OIVM = \{V_q\}$, где $q = \{1, \dots, Q\}$, Q – мощность множества S , а все V_q определены в одном и том же OEVS, что дает возможность сопоставлять ценности разных стейкхолдеров и определять их соответствия или противоречия друг другу.

Метрики ценностей. Уровни реализации определенных ценностей могут быть выражены в естественных единицах измерения (например, «время, затрачиваемое на получение услуги», «число «лайков» и т.п.). Для других значений уровень реализации выражается как качественная оценка, например, порядковый номер уровня условной реализации с описанием семантики ценности, реализованной на этом уровне (см. пример в подразделе 3.3).

Разработка таких метрик выполняется с каждым расширением открытой схемы OEVS и моделей ценностей в нем, в том числе, для возникающих новых форм интереса в размерности SH. Это позволяет формировать и накапливать знания о значениях ценностей таким образом, что при выполнении ИП можно постепенно увеличивать уровень автоматизации интеллектуального анализа, в том числе, для планирования ЦТ предприятий.

Заключение

Производные модели и функции для выполнения бизнес-задач. Для выполнения конкретных бизнес-задач развития предприятия, в том числе для оценки приемлемости его ЦТ полезно создавать и использовать производные и адаптированные модели на основе интегрированных OIVM и OICA (таблица 1). Например, для управления рисками ЦТ важно анализировать совместимость попарных комбинаций ценностей, которые могут противоречить друг другу. В частности, это делается для оценки комбинаций ценностей предприятия как ценностей, поддерживаемых (или исчезающих из-за исключения компоненты) конкретными функциональными компонентами c_i , с одной стороны, и ценностями его сотрудников, клиентов, и регулирующих органов, с другой, что описано в работе [14].

Чтобы формализовать такую оценку, можно определить варианты функции $F(c_i, v_{q_1 n_1}, v_{q_2 n_2})$, которая для каждой функциональной компоненты ЦТ дает, например, оценку «соответствует» (+), «не соответствует» (–), «смешанная оценка» (+/–) или «несравнимо» (0), в зависимости от оценки совместимости $v_{q_1 n_1}$ и $v_{q_2 n_2}$ при конкретной реализации компоненты c_i из OICA.

Определение этих оценок как значений функции F на начальном этапе применения моделей OIVM потребует «ручного» выполнения оценок экспертами в разных предметных областях и выполнения постоянных расширений размерности SH описаниями новых видов, форм интереса и метрик для конкретных ценностей. Такие расширения рассматриваются как накопление знаний для дальнейшего повышения уровня автоматизации вычисления функции F , совершенствования ИП и риск-менеджмента.

Разработка отношений порядка в размерностях OIES. Рекомендуется разрабатывать шкалы метрик уровней реализации ценностей таким обра-

зом, чтобы они устанавливали отношения порядка в размерностях пространства OIES на основе упорядочения уровней такой шкалы. Определять такой порядок возможно не во всех случаях или только для ограниченных условий конкретной задачи, однако это дает возможность измерять сравнительное расстояние от одной ценности до другой или до эталонной ценности. У автора и его коллег есть опыт таких разработок [29; 30], успешно примененный на практике [31; 32].

Примером могут служить шкалы уровней реализации ценностей-инструментов как способностей ИТ-специалистов [30], такие как «ответственность за работу», «способность к автономной работе» и другие, которые были разработаны для представления уровней реализации способностей, являющихся ценностями как для отдельного работника, так и для предприятия в целом.

Общее заключение и дальнейшие исследования. Система требований R1–R9 рассматривается как основной результат данного исследования. Воплощение этих требований в предложенных структурах OEVS и OIVM является лишь одним вариантом из возможных. Поддержка открытости моделей, включенных в подход «Направляемый ценностями инжиниринг предприятия», дает основу для обогащения самых разных методов ИП, в той или иной мере опирающихся на ценности в различных их трактовках.

Вместе с тем, уже сейчас рассмотренный здесь подход в своих главных фрагментах (структуры моделей ценностей, принцип определения отношений порядка в OEVS и организация метрик уровней реализации ценностей) был использован на практике, например, в проекте оценки компетенций как ценностей ИТ-специалистов, что подтверждает работоспособность предложенного подхода.

Анализ структуры моделей ценностей и опыт их использования показывает, что формализацию OIVM следует сочетать с накоплением знаний о представлениях фактических форм ценностей и уровнях их реализации. Это позволит, в частности, разрабатывать все более совершенные системы интеллектуальных программных агентов, поддерживающих важные решения в областях инжиниринга многоагентных предприятий и непрерывного мониторинга рискованных ситуаций. В целом использование знаний о ценностях в решении расширяющегося круга бизнес-задач и предложенного подхода «Направляемый ценностями инжиниринг предприятия» позволяет обеспечивать устойчивое развитие предприятий в условиях цифровой экономики. Такое развитие становится в большей степени достижимым благодаря охвату всех бизнес-областей и компонент предприятия методами развития, направляемыми ценностями на фундаментальном уровне и в динамическом режиме. ■

Литература

1. World development report 2016: Digital dividends. Washington: International Bank for Reconstruction and Development, 2016.
2. Alderman L. Uber dealt setback after European Court rules it is a taxi service // The New York Times, 20 December 2017.
3. Pombinho J., Aveiro D., Tribolet J. Towards value-oriented enterprise engineering – Relativity in service system networks // Knowledge and Technologies in Innovative Information Systems. Proceedings of the 7th Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS 2012), Guimaraes. Portugal, 8–10 September 2012. Lecture Notes in Business Information Processing. Vol. 129. P. 113–124.
4. Designing value-oriented service systems by value map / A. Golnam [et al.] // Proceedings of the International Symposium on Business Modeling and Software Design (BMSD 2013), Noordwijkerhout. The Netherlands, 8–10 July 2013. Lecture Notes in Business Information Processing. 2014. Vol. 173. P. 150–173.
5. Gilding P., Hogarth M., Reed D. Single bottom line sustainability. How a value centered approach to corporate sustainability can pay off for shareholders and society. Sydney, Australia: Ecos Corporation, 2002.
6. Ramamoorti S., Watson M.W., Zabel M. Engineering value into enterprise risk management // Internal Auditor. 2008. October. P. 53–59.
7. DeLozier S., Rhodes M.G. The impact of value-directed remembering on the own-race bias // Acta Psychologica. 2015. No. 154. P. 62–68.
8. Castel A.D., Benjamin A.S., Craik F.I.M., Watkins M.J. The effects of aging on selectivity and control in short-term recall // Memory & Cognition. 2002. Vol. 30. No. 7. P. 1078–1085.
9. Zinder E.Z. Expanding enterprise engineering paradigm // Business Informatics. 2016. No. 4 (38). P. 7–18.
10. The global risks report 2018. 13th edition. Geneva, Switzerland: World Economic Forum, 2018.
11. Weizsacker E.U., Wijkman A. Come on! Capitalism, short-termism, population and the destruction of the planet. A report to the Club of Rome. NY: Springer, 2018.
12. Зиндер Е.З. Управление балансом стратегического и тактического в реализации цифровых предприятий и электронных правительств // Информационное общество. 2017. № 2. С. 9–22.
13. Zinder E.Z., Yunatova I.G. Digital economy and knowledge barriers: Their origin and dealing with them // Digital Transformation and Global Society: Second International Conference (DTGS 2017). St. Petersburg, Russia, 21–23 June 2017. P. 445–463.
14. Зиндер Е.З. Стратегические «цифровые» риски предприятий и общества. Движение к непрерывному риск-менеджменту // Сб. научных трудов XXI Российской научной конференции «Инжиниринг предприятия и управление знаниями» (ИП&УЗ–2018). Москва, 26–28 апреля 2018 г. М.: РЭУ, 2018. Т. 1. С. 276–281.

15. Аксиология // Гуманитарные технологии. Аналитический портал. [Электронный ресурс]: <http://gtmarket.ru/concepts/6894> (дата обращения 06.07.2018).
16. Соломанидина Т.О. Организационная культура компании / Уч. пособие. М.: ИНФРА-М, 2007.
17. Olsen E. Rethinking value-based management // Handbook of business strategy. 2002. P. 286–301. [Электронный ресурс]: <https://www.bcg.com/documents/file14651.pdf> (дата обращения 06.07.2018).
18. Tang D. What is value based management (VBM)? // Flevy Blog. 23 March 2017. [Электронный ресурс]: <http://flevy.com/blog/what-is-value-based-management-vbm/> (дата обращения 06.07.2018).
19. Pombinho J.P.M. Value-oriented enterprise transformation: Design and engineering of value networks. PhD Thesis. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2015.
20. Jaackson K. Management by values: Are some values better than others? // Journal of Management Development. 2010. Vol. 29. No. 9. P. 795–806.
21. Dolan S.L., Altman Y. Managing by values: The leadership spirituality connection // People & Strategy Journal. 2012. Vol. 35. No. 4. P. 20–26.
22. Аксиология // Новая философская энциклопедия. Электронная библиотека ИФ РАН. [Электронный ресурс]: <https://iphlib.ru/greenstone3/library/collection/newphilenc/document/HASH0147b7e8f087b539ec51af47> (дата обращения 06.07.2018).
23. Ценность // Гуманитарные технологии. Аналитический портал. [Электронный ресурс]: <http://gtmarket.ru/concepts/6895> (дата обращения 06.07.2018).
24. Ситкевич Н.В. Особенности трансформации нравственных ценностей в условиях информационного общества: этико-философский анализ. Дис. на соиск. уч. степени канд. филос. наук. Новомосковск: НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011.
25. Maslow A.H. Toward a psychology of being. Princeton, USA: Van Nostrand, 1962.
26. Graves C.W. Levels of existence: An open system theory of values // Journal of Humanistic Psychology. 1970. Vol. 10. No. 2. P. 131–155.
27. Schwartz S.H. An overview of the Schwartz theory of basic values // Online Readings in Psychology and Culture. 2012. Vol. 2. No. 1. [Электронный ресурс]: <https://scholarworks.gvsu.edu/orpc/vol2/iss1/11/> (дата обращения 05.02.2018).
28. McLeod S. Maslow's hierarchy of needs. [Электронный ресурс]: www.simplypsychology.org/maslow.html (дата обращения 05.02.2018).
29. Зиндер Е.З., Тельнов Ю.Ф., Юнатова И.Г. Методика построения модели компетенций на основе профессиональных стандартов в области ИКТ для создания программ дополнительного профессионального образования // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2011. № 6. С. 112–118.
30. Зиндер Е.З., Юнатова И.Г. Система метрик и оценочных шкал знаний, умений и способностей в нормализованной модели компетенций применительно к сфере ИКТ // Сб. трудов XV Российской научной конференции «Реинжиниринг бизнес-процессов и системы управления знаниями» (РБП&СУЗ–2012). Москва, 23–25 апреля 2012 г. М.: МЭСИ, 2012. Т. 1. С. 85–89.
31. Гузик С.В., Зиндер Е.З., Юнатова И.Г. Новая парадигма инжиниринга предприятия и управление соответствием между рабочими процессами и компетентностью их исполнителей // Сб. трудов XVI конференции «Инжиниринг предприятия и управление знаниями» (ИП&УЗ–2013). Москва, 25–26 апреля 2013 г. М.: МЭСИ, 2013. С. 90–100.
32. Zinder E.Z., Yunatova I.G. Conceptual framework, models, and methods of knowledge acquisition and management for competency management in various areas // Proceedings of the 4th International Conference on Knowledge Engineering and the Semantic Web (KESW 2013). St. Petersburg, Russia, 7–9 October 2013 (eds. P. Klinov, D. Mourontsev). Berlin, Heidelberg: Springer, 2013. Vol. 394. P. 228–241.

Values-directed enterprise engineering⁵

Evgeny Z. Zinder

*Chairman of the Board, NCO "Foundation for System Engineering, Standardization and Project Management Support" (FOSTAS Foundation)
Address: mailbox 563, Moscow, 107061, Russia
E-mail: ezinder@fostas.ru*

Abstract

This article presents an approach to enterprise engineering (EE) enhancement under modern conditions by including in EE possibilities and capabilities of systematic decision making support based on the values analysis of an enterprise and all the engaged parties – stakeholders of different categories. The particularity of the approach consists of combining broad understanding of values, aiming at real business tasks at all the levels of enterprise management, and including digital transformations risk management in these tasks.

⁵ This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 16-07-01062 "Development of methods and resources of enterprise engineering based on smart technologies")

The approach includes both “analog” and “digital” values models, and also employs heterogeneous values models. Values are regarded as a social and economic, corporate and personal phenomenon. Subjectivity, situatedness, relativity, and changeability of values are taken into consideration. The article suggests conjoint consideration of various stakeholders’ (interested parties’) heterogeneous values, among others, of stakeholders affected by digital transformations. The enterprise itself as an economic agent, its owners, employees, enterprise-partners, clients/customers, communities, social organizations, and public agencies might be among the stakeholders considered. One of the key requirements is values comparability and the ability to determine the gap between different stakeholders’ values. Other requirements define the constitution of values models and characteristics of models elements.

One of the essential results of this research is the developed system of requirements. Besides, the structure of an open multidimensional enterprise values space is suggested as well as the structure of partial and integrated values models placed in this space is presented. The framework for tracing relations between the enterprise components and the stakeholders’ values is proposed, and the possibility of introducing functions assessing conformity and nonconformity of different stakeholders’ values on the integrated values model of the enterprise is demonstrated. The presented system of requirements and models enables building and applying values models which was tested in completed projects. The approach allows enabling sustainable enterprises development under digital economy conditions at the fundamental level by values-directed management. Moreover, it might prove useful for expanding various enterprise transformation methods, including their existing value-directed and value-centered variants.

Key words: enterprise engineering; digital transformation; values; values model; risk management; values space; values-directed enterprise engineering; digital values model; analog values model.

Citation: Zinder E.Z. (2018) Values-directed enterprise engineering. *Business Informatics*, no. 3 (45), pp. 7–19. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.3.7.19.

References

1. IBRD (2016) *World development report 2016: Digital dividends*. Washington: International Bank for Reconstruction and Development.
2. Alderman L. (2017) Uber dealt setback after European Court rules it is a taxi service. *The New York Times*, 20 December 2017.
3. Pombinho J., Aveiro D., Tribolet J. (2012) Towards value-oriented enterprise engineering – Relativity in service system networks. *Knowledge and Technologies in Innovative Information Systems. Proceedings of the 7th Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS 2012). Guimaraes, Portugal, 8–10 September 2012. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 129, pp. 113–124.
4. Golnam A., Viswanathan V., Moser C.I., Ritala P., Wegmann A. (2014) Designing value-oriented service systems by value map. Proceedings of the *International Symposium on Business Modeling and Software Design (BMSD 2013). Noordwijkerhout, The Netherlands, 8–10 July 2013. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 173, pp. 150–173.
5. Gilding P., Hogarth M., Reed D. (2002) *Single bottom line sustainability. How a value centered approach to corporate sustainability can pay off for shareholders and society*. Sydney, Australia: Ecos Corporation.
6. Ramamoorti S., Watson M.W., Zabel M. (2008) Engineering value into enterprise risk management. *Internal Auditor*, October 2008, pp. 53–59.
7. DeLozier S., Rhodes M.G. (2015) The impact of value-directed remembering on the own-race bias. *Acta Psychologica*, no. 154, pp. 62–68.
8. Castel A.D., Benjamin A.S., Craik F.I.M., Watkins M.J. (2002) The effects of aging on selectivity and control in short-term recall. *Memory & Cognition*, vol. 30, no. 7, pp. 1078–1085.
9. Zinder E.Z. (2016) Expanding enterprise engineering paradigm. *Business Informatics*, no. 4 (38), pp. 7–18.
10. World Economic Forum (2018) *The global risks report 2018. 13th edition*. Geneva, Switzerland: World Economic Forum.
11. Weizsacker E.U., Wijkman A. (2018) *Come on! Capitalism, short-termism, population and the destruction of the planet. A report to the Club of Rome*. NY: Springer.
12. Zinder E.Z. (2017) Upravlenie balansom strategicheskogo i takticheskogo v realizatsii tsifrovoykh predpriyatii i elektronnykh pravitel'stv [Managing the balance of strategy and tactics in digital enterprises and electronic governments implementation]. *Information Society*, no. 2, pp. 9–22 (in Russian).
13. Zinder E.Z., Yunatova I.G. (2017) Digital economy and knowledge barriers: Their origin and dealing with them. Proceedings of *Digital Transformation and Global Society: Second International Conference (DTGS 2017). St. Petersburg, Russia, 21–23 June 2017*, pp. 445–463.
14. Zinder E.Z. (2018) Strategicheskieskie “tsifrovye” riski predpriyatii i obshchestva. Dvizhenie k nepreryvnomu risk-menedzhmentu [Strategic “digital” risks of enterprises and the society: Movement to continuous risk management]. Proceedings of the *XXI Russian Scientific Conference on Enterprise Engineering and Knowledge Management (EE&KM–2018). Moscow, 26–28 April 2018*. Moscow: REU, vol. 1, pp. 276–281 (in Russian).
15. Humanitarian Technologies (2018) *Aksiologiya [Axiology]*. Available at: <http://gtmarket.ru/concepts/6894> (accessed 06 July 2018) (in Russian).
16. Solomanidina T.O. (2007) *Organizatsionnaya kul'tura kompanii [Organizational culture of a company]*. Moscow: INFRA-M (in Russian).
17. Olsen E. (2002) Rethinking value-based management. *Handbook of business strategy*, pp. 286–301. Available at: <https://www.bcg.com/documents/file14651.pdf> (accessed 06 July 2018).
18. Tang D. (2017) What is value based management (VBM)? *Flevy Blog*. 23 March 2017. Available at: <http://flevy.com/blog/what-is-value-based-management-vbm/> (accessed 06 July 2018).

19. Pombinho J.P.M. (2015) *Value-oriented enterprise transformation: Design and engineering of value networks*. PhD Thesis. Lisboa: Universidade de Lisboa.
20. Jaackson K. (2010) Management by values: Are some values better than others? *Journal of Management Development*, vol. 29, no. 9, pp. 795–806.
21. Dolan S.L., Altman Y. (2012) Managing by values: The leadership spirituality connection. *People & Strategy Journal*, vol. 35, no. 4, pp. 20–26.
22. Institute of Philosophy RAS (2018) *Aksiologiya [Axiology]*. Available at: <https://iphlib.ru/greenstone3/library/collection/newphilenc/document/HASH0147b7e8f087b539ec51af47> (accessed 06 July 2018) (in Russian).
23. Humanitarian Technologies (2018) *Tsennost' [Value]*. Available at: <http://gtmarket.ru/concepts/6895> (accessed 06 July 2018) (in Russian).
24. Sitkevich N.V. (2011) *Osobennosti transformatsii нравstvennykh tsennostei v usloviyakh informatsionnogo obshchestva: etiko-filosofskii analiz [Particularities of transformation of moral values in the conditions of information society: ethical and philosophical analysis]*. PhD Thesis. Novomoskovsk: D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (in Russian).
25. Maslow A.H. (1962) *Toward a psychology of being*. Princeton, USA: Van Nostrand.
26. Graves C.W. (1970) Levels of existence: An open system theory of values. *Journal of Humanistic Psychology*, vol. 10, no. 2, pp. 131–155.
27. Schwartz S.H. (2012) An overview of the Schwartz theory of basic values. *Online Readings in Psychology and Culture*, vol. 2, no. 1. Available at: <https://scholarworks.gvsu.edu/orpc/vol2/iss1/11/> (accessed 05 February 2018).
28. McLeod S. (2018) *Maslow's hierarchy of needs*. Available at: www.simplypsychology.org/maslow.html (accessed 05 February 2018).
29. Zinder E.Z., Telnov Yu.F., Yunatova I.G. (2011) Metodika postroeniya modeli kompetentsii na osnove professional'nykh standartov v oblasti IKT dlya sozdaniya programm dopolnitel'nogo professional'nogo obrazovaniya [The methodology of competence model design based on professional standards in ICT area for creation of the additional professional educational programs]. *Economics, Statistics and Informatics. Vestnik UMO*, no. 6, pp. 112–118 (in Russian).
30. Zinder E.Z., Yunatova I.G. (2012) Sistema metrik i otsenochnykh shkal znaniy, umeniy i sposobnostey v normalizovannoi modeli kompetentsii primenitel'no k sfere IKT [The system of metrics and evaluative scales of knowledge, skills and abilities in the normalized model of competences applied to the ICT area]. Proceedings of the *XV Conference on Business Processes Reengineering and Knowledge Management Systems (BPR&KMS–2012)*. Moscow, 23–25 April 2012. Moscow: MESI, vol. 1, pp. 85–89 (in Russian).
31. Guzik S.V., Zinder E.Z., Yunatova I.G. (2013) Novaya paradigma inzhiniringa predpriyatiya i upravlenie sootvetstviem mezhdru rabochimi protsessami i kompetentnost'yu ikh ispolnitelei [A new paradigm of enterprise engineering and management of compliance between working processes and competency of their executers]. Proceedings of the *XVI Conference on Enterprise Engineering and Knowledge Management (EE&KM–2013)*. Moscow, 25–26 April 2013. Moscow: MESI, pp. 90–100 (in Russian).
32. Zinder E.Z., Yunatova I.G. (2013) Conceptual framework, models, and methods of knowledge acquisition and management for competency management in various areas. Proceedings of the *4th International Conference on Knowledge Engineering and the Semantic Web (KESW 2013)*. St. Petersburg, Russia, 7–9 October 2013 (eds. P. Klinov, D. Mouromtsev). Berlin, Heidelberg: Springer, vol. 394, pp. 228–241.

Эффективный по времени точный комбинированный алгоритм для асимметричной задачи коммивояжера¹

Г.Н. Жукова

кандидат физико-математических наук
доцент департамента программной инженерии
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Адрес: 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20
E-mail: galinanzhukova@gmail.com

М.В. Ульянов

доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник, Институт проблем управления им В.А. Трапезникова РАН;
профессор кафедры алгоритмических языков
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65
E-mail: tuljanov@mail.ru

М.И. Фомичев

выпускник магистратуры, образовательная программа «Программная инженерия»
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Адрес: 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20
E-mail: mikhail.fomichev94@gmail.com

Аннотация

Для практически значимых оптимизационных задач в области экономики и логистики, а также в ряде технических приложений возникает необходимость решения задачи коммивояжера (traveling salesman problem, TSP). Достаточно часто особенности этих задач приводят к задаче коммивояжера в асимметричной постановке (asymmetric traveling salesman problem, ATSP). Более того, в некоторых практических применениях желательно получение точного решения. Одним из известных точных алгоритмов решения задачи ATSP является алгоритм, реализующий известный метод ветвей и границ. Известные экспериментально полученные оценки его сложности в среднем экспоненциальные. Однако это не означает, что для небольших размерностей задачи (в настоящее время – не более 70–75) ожидаемое время решения индивидуальной задачи неприемлемо велико. Диктуемая практикой необходимость сокращения времени решения индивидуальных задач связана с использованием различных модификаций этого алгоритма, из которых модификация, предполагающая хранение усеченных матриц в поисковом дереве решений, – одна из наиболее эффективных. В рамках данной статьи авторы опираются именно на эту модификацию. Другие возможные улучшения временной эффективности программной реализации метода ветвей и границ связаны, в том числе, с получением начального приближения эвристическими алгоритмами. В результате получается комбинированный алгоритм, в котором на первом этапе работает некоторая эвристика для получения начального решения, с которого и стартует метод ветвей и границ. Эта идея обсуждается достаточно давно, однако проблема заключается в том, что для сокращения времени необходим такой эвристический алгоритм, который позволяет получить решение, близкое к оптимальному, с небольшими временными затратами. Одному из возможных решений этой задачи и посвящена данная статья.

Предметом исследования в данной статье является выбор наилучшего эвристического алгоритма, применение которого приводит к повышению временной эффективности в комбинации с алгоритмом метода ветвей и границ, а также экспериментальное исследование его программной реализации с целью выявления среднего времени решения индивидуальных задач. На основе полученных результатов даются рекомендации по предельным размерностям задачи, допускающим приемлемое время решения, что представляет интерес в практическом применении этого комбинированного алгоритма в задачах бизнес-информатики и логистики.

¹ Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-07-00160 «Прогнозирование временных характеристик эффективных реализаций метода ветвей и границ для задачи коммивояжера на основе характеристик случайных матриц и идентификации порожденного распределения времен»)

Ключевые слова: задача коммивояжера; метод ветвей и границ; комбинированный алгоритм; временная эффективность; экспериментальное исследование.

Цитирование: Жукова Г.Н., Ульянов М.В., Фомичев М.И. Эффективный по времени точный комбинированный алгоритм для асимметричной задачи коммивояжера // Бизнес-информатика. 2018. № 3 (45). С. 20–28. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.3.20.28.

Введение

Задача коммивояжера родилась в экономической постановке: торговцу требуется посетить несколько мест (городов), расположенных на известном расстоянии друг от друга. При этом нужно сэкономить на транспортных расходах, выбрав кратчайший маршрут, проходящий через все города ровно по одному разу. Математическая формулировка этой задачи осуществляется в терминах теории графов путем ассоциации городов с вершинами графа, а путей сообщения и стоимостей проезда – с нагруженными дугами. В общем случае мы получаем полный ориентированный асимметричный граф на n вершинах без собственных петель, который задается матрицей смежности $C = (c_{ij})$, далее называемой матрицей стоимостей. Гамильтонов цикл заданного графа будем называть туром. В задаче коммивояжера требуется найти тур с минимальной суммой весов дуг. Эта задача коммивояжера является NP -трудной и поэтому относится к труднорешаемым задачам комбинаторной оптимизации.

Задача коммивояжера допускает множество разнообразных практически важных интерпретаций, таких как календарное планирование работы устройств с учетом переналадок, оптимизация работы подъемных кранов, определение очередности прожигания прорезей при изготовлении микросхем [1]. К задаче коммивояжера также сводится поиск оптимальной схемы прокладки кабелей вычислительных сетей, предсказание функций протейнов или построение черно-белых изображений непрерывной линией без пересечений [2].

Первым точным алгоритмом решения задачи коммивояжера был, предложенный в 1963 году группой авторов алгоритм [3], который реализует метод ветвей и границ [4]. Подробное описание ранних работ по задаче коммивояжера можно найти в статье [5]. Современное состояние методов и подходов к ее решению описано в работе [6], а вопросы повышения точности нижней оценки стоимости тура – в статье [7]. Мы не приводим описание классического алгоритма метода ветвей и границ для задачи коммивояжера, которое можно найти, например, в работах [3; 8; 9].

Поскольку ряд практических задач в области бизнес-информатики, логистики и экономической оптимизации сводится к задаче коммивояжера, обилие эвристических методов ее решения не означает отказ от возможности, а иногда и необходимости получения точных решений задачи. В связи с этим возникают вопросы: каковы размерности задач, решаемых точно за приемлемое для исследователя время, и каковы возможности увеличения этой предельной размерности для модифицированных точных алгоритмов, обладающих лучшей временной эффективностью.

Одна из возможных модификаций, идея которой высказывалась еще в 1960-е годы, состоит в том, что мы, используя некоторый эвристический алгоритм, находим приближенное решение для индивидуальной задачи (тур) и запускаем метод ветвей и границ, уже зная некоторое начальное приближение. Интуитивно понятно, что такой подход должен сократить число вершин порожденного дерева решений и, следовательно, время получения точного решения. Таким образом, мы получаем комбинированный алгоритм, состоящий из эвристического алгоритма, который находит первое приближение, и алгоритма метода ветвей и границ, который позволяет получить точное решение, порождая при этом сокращенное поисковое дерево решений. Описанию результатов исследования в области создания такого комбинированного алгоритма и посвящена настоящая статья.

1. Постановка задачи

Содержательно постановка задачи состоит в том, чтобы найти такой эвристический алгоритм (из множества известных) для асимметричной задачи коммивояжера, который позволил бы сократить общее время получения точного решения за счет запуска метода ветвей и границ с начальным решением, далее называемым предвычисленным туром.

Введем следующие обозначения:

n – размерность задачи (число вершин полного графа);

$C = (c_{ij})$ – матрица стоимостей, описывающая

ориентированный граф без собственных петель, соответствующий индивидуальной асимметричной задаче коммивояжера;

T_e – стоимость тура, найденного эвристическим алгоритмом;

$t_{MBF}(C, T_e)$ – время работы программной реализации алгоритма метода ветвей и границ (в определенной программно-аппаратной конфигурации) для индивидуальной задачи, заданной матрицей C , с предвычисленным туром стоимости T_e ;

$t_E(C)$ – время работы эвристического алгоритма;

$N_0(C)$ – количество вершин поискового дерева решений, порожденных классическим алгоритмом метода ветвей и границ (без предвычисленного тура);

$N_1(C)$ – количество вершин поискового дерева решений, порожденных в ходе работы метода ветвей и границ с предвычисленным туром, стоимость которого равна оптимальному туру для данной матрицы;

$\bar{t}_{MBF0}(n)$ – выборочное среднее время программной реализации классического алгоритма метода ветвей и границ без предвычисленного тура для выборки индивидуальных задач размерности n ;

$\bar{t}_{MBF1}(n)$ – выборочное среднее время программной реализации классического алгоритма метода ветвей и границ с предвычисленным туром для выборки индивидуальных задач размерности n ;

$\bar{t}_E(n)$ – выборочное среднее время программной реализации эвристического алгоритма для выборки индивидуальных задач размерности n .

Задача состоит в том, чтобы найти такой эвристический алгоритм, который обеспечивал бы сокращение времени поиска точного решения за счет предвычисленного тура, т.е. найти такой алгоритм, чтобы

$$t_{MBF}(C, T_e) + t_E(C) < t_{MBF}(C, \infty). \quad (1)$$

Поскольку метод ветвей и границ является сильно

чувствительным к особенностям индивидуальных задач, условие (1) не гарантирует сокращение времени для другой индивидуальной задачи. В общем случае необходимо перейти к выборочным средним:

$$\bar{t}_{MBF1}(n) + \bar{t}_E(n) < \bar{t}_{MBF0}(n). \quad (2)$$

Также представляет интерес определение такого порогового значения размерности задачи, при котором применение комбинированного алгоритма было бы целесообразным. В целях прогнозирования временной эффективности также необходимо получить тренд средних времен по размерности задачи.

2. Способы сокращения временных затрат в методе ветвей и границ

Для сокращения времени работы алгоритмов, реализующих идею метода ветвей и границ для решения задачи коммивояжера, предлагаются различные подходы, связанные как с организацией хранения и обработки поискового дерева решений и его вершин [10], так и с построением комбинаций точного и различных эвристических алгоритмов [11–13].

В работе [10] представлено экспериментальное исследование влияния выделения дополнительной памяти на хранение усеченных матриц стоимостей в вершинах поискового дерева решений в диапазоне длин входов от 25 до 45. В *таблице 1* представлен прогноз, основанный на экспериментальных данных [10]. На основании этих данных можно предполагать, что программная реализация алгоритма с хранением матриц может быть практически использована для точного решения задачи коммивояжера с длиной входа не более 70 при реально доступной оперативной памяти в 16 Гб с ожидаемым средним временем расчета на современных персональных компьютерах порядка одной минуты.

Таблица 1.

Прогноз ресурсных характеристик

Размерность задачи	Прогноз времени расчета оптимального тура без дополнительной памяти	Прогноз времени расчета оптимального тура с дополнительной памятью	Прогноз отношения времен	Прогноз среднего объема требуемой дополнительной памяти
45	1 с	0,2 с	5	30,71 МБ
54	7 с	1 с	7	172,3 МБ
70	11,7 мин	1 мин	11,7	12,47 ГБ
80	2,5 ч	10 мин	15	136,37 ГБ
88	19,6 ч	1 ч	19,6	924,26 ГБ
102	29,5 дней	1 день	29,5	25,69 ТБ

При разработке комбинации алгоритма метода ветвей и границ с эвристическими алгоритмами, определяющими предвычисленный тур, мы в дальнейшем будем использовать реализацию, включающую хранение усеченных матриц стоимостей в вершинах поискового дерева решений.

Авторы исследования [12] стремились нивелировать недостатки метода ветвей и границ эвристическими алгоритмами и техниками распараллеливания программных потоков. Однако авторы также указывают, что отчетливо понимают тот факт, что к полученным результатам необходимо относиться с большой осторожностью, и они носят только ознакомительный характер.

3. Влияние качества предвычисленного тура на число порожденных вершин

В классическом методе ветвей и границ для решения задачи коммивояжера предполагается, что невозможно начать отсекал поддеревья поискового дерева решений до тех пор, пока не будет найден какой-либо тур. Это связано с тем, что классический метод не предполагает наличие какого-либо тура в момент начального запуска. Ввиду особенности задачи, дерево решений может серьезно разрастись, пока первый тур не будет найден. Использование предвычисленного тура (известного до начала работы метода ветвей и границ) может сократить размеры порожденного дерева решений. При близкой к оптимальной стоимости предвычисленного тура такой комбинированный подход может уменьшить время поиска оптимального тура (поскольку отпадает необходимость создавать и посещать неперспективные вершины поискового дерева решений), а также уменьшить объем требуемой дополнительной памяти (поскольку пропадает необходимость хранения неперспективных вершин поискового дерева).

Таким образом, данный подход направлен на сокращение как времени расчета, так и объема требуемой памяти. Однако при его реализации возникает несколько вопросов. Очевидно, что чем ближе предвычисленный тур к точному решению, тем меньше времени потребуется для нахождения оптимального решения. С другой стороны, предвычисленный тур должен быть найден достаточно быстро. Это означает, что время, затраченное на работу классического метода ветвей и границ, по крайней мере, должно быть не больше, чем сум-

марное время работы эвристического алгоритма и алгоритма метода ветвей и границ с предвычисленным туром. Иными словами, использование предвычисленного тура должно быть оправданным и рациональным. Мы отражаем этот факт в постановке задачи.

Согласно работе [14], если предвычисленный тур является оптимальным, то размер дерева решений сокращается приблизительно на 40%. В таблице 2 представлено усредненное количество порожденных вершин поискового дерева решений для задач разных размерностей, полученное на основе экспериментальных исследований [14]. Характеристика $\eta = (1 - N_1 / N_0)$ показывает, на сколько процентов сократится дерево решений, если предвычисленный тур для метода ветвей и границ будет оптимальным.

Однако чувствительность метода ветвей и границ к качеству предвычисленного тура достаточно высока: если предвычисленный тур будет более чем на 5% хуже оптимального, то, как показано в работе [14], дерево решений практически не сокращается.

Таблица 2.

Влияние предвычисленного тура на количество порожденных вершин

n	η
35	38%
40	38%
45	39%

4. Эвристические алгоритмы получения предвычисленного тура

Эвристические алгоритмы – это алгоритмы, которые не гарантируют нахождение точного решения, однако решения, найденные этими алгоритмами, в определенной мере близки к оптимальным и при этом работают за «приемлемое» время [15]. В отличие от точных алгоритмов, эвристические алгоритмы обычно достаточно просты в реализации и работают быстрее. Все множество эвристических алгоритмов можно разделить на три типа:

- ◆ жадные [16];
- ◆ роевые [17–19];
- ◆ улучшающие решения [20; 21].

Кроме того, существует множество различных алгоритмов, которые предназначены для решения частных случаев задачи (например, для решения метрической задачи коммивояжера [22]).

Предварительный анализ литературных источников [14; 23; 24] позволяет сделать вывод, что представители жадных и роевых эвристических алгоритмов не могут обеспечить достаточно качественное решение за необходимое в нашей постановке задачи время. Поэтому использование полученных этими алгоритмами туров в качестве предвычисленных будет нерациональным. Иная ситуация связана с множеством эвристических алгоритмов, улучшающих решения.

В 1973 году Ш. Лин и Б. Керниган представили эффективный эвристический алгоритм для задачи коммивояжера (алгоритм Лина–Кернигана) [25]. Он основан на идее итерационного улучшения случайно полученного тура. Как показали экспериментальные результаты, этот алгоритм достаточно часто находит даже глобально оптимальные решения. В то же время сложность алгоритма составляет приблизительно $O(n^{2.2})$ [25].

Позднее, в 2000 году К. Хелсгаун предложил модифицированную реализацию упомянутого алгоритма (алгоритм Лина–Кернигана–Хелсгауна) [26]. Этот алгоритм достаточно часто находит оптимальное решение за приемлемое время даже для задач большой размерности.

Рассмотренные алгоритмы спроектированы для решения симметричной задачи коммивояжера. Однако, используя метод трансформации, предложенный в работе [27], любая несимметричная задача коммивояжера (размерности n) может быть преобразована в симметричную задачу коммивояжера (размерности $2n$). К сожалению, эта трансформация также влияет на время решения несимметричной задачи коммивояжера алгоритмом Лина–Кернигана–Хелсгауна.

Основная идея алгоритма Лина–Кернигана–Хелсгауна заключается в том, чтобы найти некоторое допустимое решение, после чего выделить два множества дуг – таких, что если все дуги первого множества удалить из найденного тура и заменить их дугами из второго множества, то результатом будет тур, который лучше (дешевле) предыдущего. Процесс переноса дуг повторяется до тех пор, пока становится невозможно сформировать такие два множества дуг. Все ограничения на множества дуг и особенности их выбора подробно описаны в работе [26].

Эффективность алгоритма Лина–Кернигана–Хелсгауна достигается, в первую очередь, за счет эффективной стратегии поиска множеств дуг, опи-

санных выше. Поиск построен на основе ограничения 5-орт перемещений, которые ограничены множеством возможных кандидатов [26].

Автором работы [28] предпринята попытка разработать алгоритм, который будет находить оптимальные или очень близкие к оптимальным решения достаточно быстро. Однако при этом не уделено внимание вопросу сложности реализации, в результате чего последняя программная реализация, представленная автором, занимает порядка 10 000 строк исходного кода [28].

5. Комбинированный алгоритм и экспериментальные результаты

Для анализа комбинации метода ветвей и границ с эвристическим алгоритмом проведено экспериментальное исследование несимметричных задач коммивояжера для размерностей 35, 37, 40, 43 и 45. Объем выборки для каждой размерности составил 100 000 индивидуальных задач.

Эксперименты проводились на стационарном компьютере со следующими характеристиками:

- ◆ процессор: Intel i7 8700K 4700 MHz;
- ◆ оперативная память: Corsair Vengeance LPX CMK32GX4M2B3466C16R DDR4 3466 MHz 32 GB;
- ◆ материнская плата: ASRock Fatal1ty Z370 Gaming K6;
- ◆ операционная система: Arch with kernel version 4.14.13-1-ARCH.

Для минимизации шумов операционной системы фоновые процессы (такие как фаервол), которые не нужны для исследования, были отключены. Также отсутствует графический пользовательский интерфейс, а управление операционной системой осуществлялось посредством командной строки.

Алгоритмы реализованы на языке C++ и скомпилированы в исполняемый файл с помощью компилятора gcc 7.2.1 20171224.

Введем обозначение: $\bar{t}_{LKH}(n)$ – среднее время работы программной реализации алгоритма Лина–Кернигана–Хелсгауна на индивидуальных задачах размерности n .

В первой части *таблицы 3* приведены среднее, минимальное и максимальное (по 100 000 задач) время работы программной реализации алгоритма метода ветвей и границ без предвычисленного тура – \bar{t}_{MBG_0} , $\check{t}_{MBG_0}(n)$, $\hat{t}_{MBG_0}(n)$ соответственно.

Вторая часть *таблицы 3* содержит экспериментальные данные по среднему, минимальному и максимальному (по 100 000 задач) времени работы нашей программной реализации метода ветвей и границ с предвычисленным туром, полученным с помощью алгоритма Лина–Кернигана–Хелсгауна – $\bar{t}_{МВГ_1}(n) + \bar{t}_{ЛКН}(n)$, $\check{t}_{МВГ_1}(n) + \check{t}_{ЛКН}(n)$, $\hat{t}_{МВГ_1}(n) + \hat{t}_{ЛКН}(n)$ соответственно.

Полученные экспериментальные результаты показывают не столь существенное сокращение времени, как это следует из данных *таблицы 2*. Ответ на вопрос, почему сокращение числа порожденных вершин на 38% не дает соответствующего сокращения времени, заключается в следующем: алгоритм метода ветвей и границ, находясь в некоторой вершине поискового дерева, пытается породить две новые вершины, однако их оценки оказываются больше, чем значение предвычисленного тура и создания новых вершин не происходит. При этом на обработку этой вершины, очевидно, затрачивается время, однако эта обработка не приводит к порождению новых вершин поискового дерева.

Аппроксимация полученных экспериментальных результатов методом наименьших квадратов показывает, что

$$\bar{t}_{МВГ_0}(n) = 17,783 \cdot e^{0,2399n}, \text{ при } R^2 = 0,9999, \quad (3)$$

$$\bar{t}_{МВГ_1}(n) + \bar{t}_{ЛКН}(n) = 27,552 \cdot e^{0,2293n}, \text{ при } R^2 = 0,9999. \quad (4)$$

Абсцисса точки пресечения этих экспонент лежит приблизительно около целочисленной точки $n = 43$. Это означает, что, в соответствии с (3) и (4), начиная с $n = 43$, комбинация метода ветвей и границ с алгоритмом Лина–Кернигана–Хелсгауна работает в среднем быстрее, чем классический метод ветвей и границ, по крайней мере, по оценке с помощью выборочного среднего. Полученная

формула (4) также позволяет определить границу размерности задач, для которых с использованием комбинированного алгоритма можно получить точное решение при известном ограничении на допустимое время (t_{\max}). Эта граница является решением уравнения:

$$27,552 \cdot e^{0,2293n} = t_{\max}. \quad (5)$$

Например, при $t_{\max} = 6 \cdot 10^8$ микросекунд (т.е. 5 минут) формула (5) дает оценку $n = 73$. При этом не надо забывать о том, что метод очень чувствителен к индивидуальным задачам, и реальные значения времени могут иметь значительный разброс относительно выборочного среднего, а требования к дополнительной памяти могут быть существенными.

Авторы отдают себе отчет в том, что точность полученной экстраполяции невысока, и мы имеем достаточно грубое приближение. В целом мы надеемся, что, начиная с размерностей порядка 70–75, комбинированный алгоритм будет работать в среднем ощутимо быстрее, но у нас нет веских оснований утверждать, что на самом деле это будет так для конкретных индивидуальных задач.

Заключение

Таким образом, в статье на основе проведенного экспериментального исследования, показано следующее:

- ◆ по полученному тренду, начиная с $n = 43$, комбинация алгоритма метода ветвей и границ с алгоритмом Лина–Кернигана–Хелсгауна работает быстрее, чем классический алгоритм метода ветвей и границ для асимметричной задачи коммивояжера, по крайней мере по оценке в среднем;
- ◆ метод ветвей и границ с предвычисленным туром не позволяет решать задачу коммивояжера за

Таблица 3.

Экспериментальные результаты

n	$\bar{t}_{МВГ_0}(n)$ МКС	$\check{t}_{МВГ_0}(n)$ МКС	$\hat{t}_{МВГ_0}(n)$ МКС	$\bar{t}_{МВГ_1}(n) + \bar{t}_{ЛКН}(n)$ МКС	$\check{t}_{МВГ_1}(n) + \check{t}_{ЛКН}(n)$ МКС	$\hat{t}_{МВГ_1}(n) + \hat{t}_{ЛКН}(n)$ МКС
35	78 009	312	4 866 390	84 080	3 629	4 200 069
37	128 072	357	63 857 740	133 791	3 691	39 814 733
40	261 729	435	34 998 093	264 468	3 840	26 352 357
43	539 085	504	66 511 234	531 160	5 127	58 208 012
45	859 599	578	123 629 945	831 424	6 232	78 427 649

полиномиальное время, однако использование предвычисленного тура позволяет уменьшить коэффициент при n в показателе экспоненты на 4,4%, что тоже является значимым результатом;

◆ предвычисленные туры, полученные с помощью жадных и роевых эвристических алгоритмов, не представляют практической ценности, поскольку

ку суммарное время работы метода ветвей и границ и таких эвристических алгоритмов больше, чем время работы «чистого» метода ветвей и границ.

Авторы видят дальнейшее развитие исследования в более детальном анализе распределения значений времени работ программных реализаций исследованных алгоритмов. ■

Литература

1. Бородин В.В., Ловецкий С.Е., Меламед И.И., Плотинский Ю.М. Экспериментальное исследование эффективности эвристических алгоритмов решения задачи коммивояжера // Автоматика и телемеханика. 1980. № 11. С. 76–84.
2. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / А.В. Колесников и [др.], под ред. А.В. Колесникова. М.: ИПИ РАН, 2011.
3. Little J.D.C., Murty K.G., Sweeney D.W., Karel C. An algorithm for the traveling salesman problem // Operations Research. 1963. No. 11. P. 972–989.
4. Land A.H., Doig A.G. An automatic method of solving discrete programming problems // Econometrica. 1960. Vol. 28. No. 3. P. 497–520.
5. Slominski L. Probabilistic analysis of combinatorial algorithms: A bibliography with selected annotations // Computing. 1982. No. 28. P. 257–267.
6. Matai R., Mittal M.L., Singh S. Travelling salesman problem: An overview of applications, formulations and solution approaches // Travelling salesman problem: Theory and applications / Ed. D. Davendra. Rijeka: Intech Open Access Publisher, 2010. P. 1–24.
7. Toriello A. Optimal toll design: A lower bound framework for the asymmetric traveling salesman problem // Mathematical Programming. 2014. Vol. 144. No. 1–2. P. 247–264.
8. Гудман С., Хидетниemi С. Введение в разработку и анализ алгоритмов / Пер. с англ. М.: Мир, 1981.
9. Korte B., Vygen J. Combinatorial optimization: Theory and algorithms. Springer, 2007.
10. Ulyanov M.V., Fomichev M.I. Resource characteristics of ways to organize a decision tree in the branch-and-bound method for the traveling salesman problem // Business Informatics. 2015. No. 4 (34). P. 38–46.
11. Oliver I., Smith D., Holland J. A study of permutation crossover operators on the traveling salesman problem // Proceedings of the 2nd International Conference on Genetic Algorithms. Cambridge, MA, USA, 28–31 July 1987. P. 224–230.
12. Cotta C., Aldana J., Nebro A., Troya J. Hybridizing genetic algorithms with branch and bound techniques for the resolution of the TSP // Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms 2 / Eds. D. Pearson, N. Steele, R. Albrecht. Wien, New York: Springer-Verlag, 1995. P. 277–280.
13. Goldberg D., Lingle R.J. Alleles, loci, and the travelling salesman problem // Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications. Pittsburgh, 24–26 July 1985. P. 154–159.
14. Фомичев М.И. Сравнительный анализ метаэвристических алгоритмов решения несимметричной задачи коммивояжера // Системы управления и информационные технологии. 2017. № 3 (69). С. 88–92.
15. Пантелеев А.В. Метаэвристические алгоритмы поиска глобального экстремума. М.: МАИ-Принт, 2009.
16. Applegate D.L., Bixby R.E., Chvatal V., Cook W.J. The traveling salesman problem: A computational study. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2006.
17. Colomi A., Dorigo M., Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies // Proceedings of the First European Conference on Artificial Life (ECAL 91). Paris, France, 11–13 December 1991. P. 134–142.
18. Dorigo M., Gambardella L.M. Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem // IEEE Transactions of Evolutionary Computation. 1997. Vol. 1. No. 1. P. 53–66.
19. Bonavear E., Dorigo M. Swarm intelligence: From natural to artificial systems. Oxford, UK: Oxford University Press, 1999.
20. Gamboa D., Rego C., Glover F. Data structures and ejection chains for solving large scale traveling salesman problems // European Journal of Operational Research. 2005. Vol. 160. No. 1. P. 154–171.
21. Kaplan H., Lewenstein M., Shafir N., Sviridenko M. Approximation algorithms for asymmetric TSP by decomposing directed regular multigraphs // Journal of the ACM. 2005. Vol. 52. No. 4. P. 602–626.
22. Mömke T., Svensson O. Removing and adding edges for the traveling salesman problem // Journal of the ACM. 2016. Vol. 63. No. 1. Article No. 2.
23. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C. Introduction to algorithms / 3rd ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2009.
24. Stutzle T., Hoos H.H. MAX-MIN ant system // Future Generation Computer Systems. 2000. No. 16. P. 889–914.
25. Lin S., Kernighan B.W. An effective heuristic algorithm for the traveling-salesman problem // Operations Research. 1973. Vol. 21. No. 2. P. 498–516.
26. Helsgaun K. An effective implementation of the Lin–Kernighan traveling salesman heuristic // European Journal of Operational Research. 2000. Vol. 126. No. 1. P. 106–130.
27. Jonker R., Volgenant T. Transforming asymmetric into symmetric traveling salesman problems // Operations Research Letters. 1983. No. 2. P. 161–163.
28. Helsgaun K. An extension of the Lin–Kernighan–Helsgaun TSP solver for constrained traveling salesman and vehicle routing problems. Technical Report. Roskilde: Roskilde University, 2017.

Exact time-efficient combined algorithm for solving the asymmetric traveling salesman problem²

Galina N. Zhukova

*Associate Professor, School of Software Engineering
National Research University Higher School of Economics
Address: 20, Myasnitskaya Street, Moscow, 101000, Russia
E-mail: galinanzhukova@gmail.com*

Mikhail V. Ulyanov

*Leading Researcher, Laboratory of Scheduling Theory and Discrete Optimization
V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences;
Professor, Department of Algorithmic Languages
Lomonosov Moscow State University
Address: 65, Profsoyuznaya Street, Moscow, 117997, Russia
E-mail: muljanov@mail.ru*

Mikhail I. Fomichev

*Graduate of System and Software Engineering MSs Program
National Research University Higher School of Economics
Address: 20, Myasnitskaya Street, Moscow, 101000, Russia
E-mail: mikhail.fomichev94@gmail.com*

Abstract

For practical, important tasks in the fields of economics and logistics, as well as in a number of technical applications, it becomes necessary to solve the traveling salesman problem (TSP). Quite often, the features of these problems lead to the traveling salesman problem in asymmetric formulation (asymmetric traveling salesman problem, ATSP). Moreover, in some practical applications it is desirable to obtain an exact solution. One of the known exact algorithms for solving the ATSP is an algorithm that implements the well-known branch and bound method. The known experimental estimates of its complexity on the average are exponential. However, this does not mean that for small dimensions of the problem (currently, no more than 70–75), the expected time for solving the individual problem is unacceptably high. The need to reduce the time for solving individual problems dictated by practice is associated with the use of various modifications of this algorithm, of which a modification that involves storing truncated matrices in the search decision tree is one of the most effective. In this article, the authors rely on this modification. Other possible improvements in the time efficiency of the software implementation of the branch and bound method are related, among other things, to obtaining the initial approximation by heuristic algorithms. As a result, we get a combined algorithm, in which, at the first stage, some heuristics works to obtain the initial solution, from which the branch and bound method starts. This idea has been discussed for a long time, but the problem is that to reduce time, such a heuristic algorithm is needed that delivers a solution close to optimal which will be found quite fast. One of the possible solutions to this problem is the subject of this article.

The subject of the research in this article is the choice of the best heuristic algorithm which, when applied, leads to an increase in temporal efficiency in combination with the algorithm of the branch and bound method, and an experimental study of its software implementation in order to obtain an average time for solving individual problems. On the basis of the results obtained, recommendations are given on the limiting dimensions of the problem that allow for an acceptable solution time, something which is of interest in the practical application of this combined algorithm in the tasks of business informatics and logistics.

Key words: travelling salesman problem; branch and bound method; combined algorithm; time efficiency; experimental research.

² This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 16-07-00160 “Forecasting of time characteristics of efficient implementations of the branch and bound method for the traveling salesman problem relying on characteristics of random matrixes and identification of generated times distribution”)

Citation: Zhukova G.N., Ulyanov M.V., Fomichev M.I. (2018) Exact time-efficient combined algorithm for solving the asymmetric traveling salesman problem. *Business Informatics*, no. 3 (45), pp. 20–28. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.3.20.28.

References

1. Borodin V.V., Loveckiy S.E., Melamed I.I., Plotinskiy U.M. (1980) Eksperimentalnoe issledovanie ehffektivnosti ehvristicheskikh algoritmov resheniya zadachi kommvoyazhera [Experimental research of the effectiveness of heuristic algorithms for solving the traveling salesman problem]. *Automation and Remote Control*, no. 11, pp. 76–84 (in Russian).
2. Kolesnikov A.V., Kirikov I.A., Listopad S.V., Rumovskaya S.B., Domanitsky A.A. (2011) *Reshenie slozhnykh zadach kommvoyazhera metodami funktsionalnykh gibridnykh intellektualnykh sistem* [Solution of complex traveling salesman problems using the methods of functional hybrid intelligent systems]. Moscow: Institute of Informatics Problems (in Russian).
3. Little J.D.C., Murty K.G., Sweeney D.W., Karel C. (1963) An algorithm for the traveling salesman problem. *Operations Research*, no. 11, pp. 972–989.
4. Land A.H., Doig A.G. (1960) An automatic method of solving discrete programming problems. *Econometrica*, vol. 28, no. 3, pp. 497–520.
5. Slominski L. (1982) Probabilistic analysis of combinatorial algorithms: A bibliography with selected annotations. *Computing*, no. 28, pp. 257–267.
6. Matai R., Mittal M.L., Singh S. (2010) Travelling salesman problem: An overview of applications, formulations and solution approaches. *Travelling salesman problem: Theory and applications* (ed. D. Davendra). Rijeka: Intech Open Access Publisher, pp. 1–24.
7. Toriello A. (2014) Optimal toll design: A lower bound framework for the asymmetric traveling salesman problem. *Mathematical Programming*, vol. 144, no. 1–2, pp. 247–264.
8. Goodman S.E., Hedetniemi S.T. (1981) *Vvedenie v razrabotku i analiz algoritmov* [Introduction to the design and analysis of algorithms]. Moscow: Mir (in Russian).
9. Korte B., Vygen J. (2007) *Combinatorial optimization: Theory and algorithms*. Springer.
10. Ulyanov M.V., Fomichev M.I. (2015) Resource characteristics of ways to organize a decision tree in the branch-and-bound method for the traveling salesman problem. *Business Informatics*, no. 4 (34), pp. 38–46.
11. Oliver I., Smith D., Holland J. (1987) A study of permutation crossover operators on the traveling salesman problem. Proceedings of the *2nd International Conference on Genetic Algorithms*. Cambridge, MA, USA, 28–31 July 1987, pp. 224–230.
12. Cotta C., Aldana J., Nebro A., Troya J. (1995) Hybridizing genetic algorithms with branch and bound techniques for the resolution of the TSP. *Artificial neural nets and genetic algorithms 2* (eds. D. Pearson, N. Steele, R. Albrecht). Wien, New York: Springer-Verlag, pp. 277–280.
13. Goldberg D., Lingle R.J. (1985) Alleles, loci, and the travelling salesman problem. Proceedings of the *First International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*. Pittsburgh, 24–26 July 1985, pp. 154–159.
14. Fomichev M.I. (2017) Sravnitelnyi analiz metaehvristicheskikh algoritmov resheniya nesimmetrichnoj zadachi kommvoyazhera [Comparative analyses of metaheuristic algorithms of solving asymmetric traveling salesman problem]. *Control Systems and Information Technologies*, no. 3 (69), pp. 88–92 (in Russian).
15. Panteleev A.V. (2009) *Metaehvristicheskie algoritmi poiska globalnogo ekstremuma* [Metaheuristic algorithms for search global extremum]. Moscow: MAI-Print (in Russian).
16. Applegate D.L., Bixby R.E., Chvatal V., Cook W.J. (2006) *The traveling salesman problem: A computational study*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
17. Colomi A., Dorigo M., Maniezzo V. (1991) Distributed optimization by ant colonies. Proceedings of the *First European Conference on Artificial Life (ECAL 91)*. Paris, France, 11–13 December 1991, pp. 134–142.
18. Dorigo M., Gambardella L.M. (1997) Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 1, no. 1, pp. 53–66.
19. Bonavear E., Dorigo M. (1999) *Swarm intelligence: From natural to artificial systems*. Oxford, UK: Oxford University Press.
20. Gamboa D., Rego C., Glover F. (2005) Data structures and ejection chains for solving large scale traveling salesman problems. *European Journal of Operational Research*, vol. 160, no. 1, pp. 154–171.
21. Kaplan H., Lewenstein M., Shafrir N., Sviridenko M. (2005) Approximation algorithms for asymmetric TSP by decomposing directed regular multigraphs. *Journal of the ACM*, vol. 52, no. 4, pp. 602–626.
22. Mömke T., Svensson O. (2016) Removing and adding edges for the traveling salesman problem. *Journal of the ACM*, vol. 63, no. 1, article no. 2.
23. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C. (2009) *Introduction to algorithms*. Cambridge, MA: MIT Press.
24. Stutzle T., Hoos H.H. (2000) MAX-MIN ant system. *Future Generation Computer Systems*, no. 16, pp. 889–914.
25. Lin S., Kernighan B.W. (1973) An effective heuristic algorithm for the traveling-salesman problem. *Operations Research*, vol. 21, no. 2, pp. 498–516.
26. Helsgaun K. (2000) An effective implementation of the Lin–Kernighan traveling salesman heuristic. *European Journal of Operational Research*, vol. 126, no. 1, pp. 106–130.
27. Jonker R., Volgenant T. (1983) Transforming asymmetric into symmetric traveling salesman problems. *Operations Research Letters*, no. 2, pp. 161–163.
28. Helsgaun K. (2017) *An extension of the Lin–Kernighan–Helsgaun TSP solver for constrained traveling salesman and vehicle routing problems*. Technical Report. Roskilde: Roskilde University.

Эвристический алгоритм формирования термов числовой лингвистической переменной

Е.Н. Чуйкова

кандидат технических наук
доцент кафедры вычислительных систем и информационной безопасности
Донской государственной технической университет
Адрес: 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1
E-mail: elenchu@mail.ru

В.В. Галушка

кандидат технических наук
доцент кафедры вычислительных систем и информационной безопасности
Донской государственной технической университет
Адрес: 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1
E-mail: galushkavv@yandex.ru

Аннотация

Описывается простой в реализации метод автоматизированного формирования функций принадлежности термов лингвистической переменной для обеспечения возможности поиска информации в реляционной базе данных на основе качественных критериев средствами языка запросов SQL.

Предлагаемый алгоритм позволяет вычислить параметры треугольных и трапециевидальных функций принадлежности термов с учетом распределения содержащихся в базе данных значений рассматриваемой характеристики. Алгоритм определяет охватываемые основаниями термов интервалы таким образом, чтобы в каждый интервал попадало приблизительно одинаковое количество значений. Верхние границы определяемых интервалов используются для вычисления параметров функций принадлежности. Определяемые по алгоритму функции принадлежности допускают возможность оперативного расчета их значений ограниченными вычислительными средствами языка SQL.

Рассмотрены реализации алгоритма для формирования трех и пяти термов лингвистической переменной, основанные на выборках из базы данных, содержащих 100 и 500 различных значений.

Получаемые в результате работы алгоритма функции принадлежности обладают требуемыми свойствами упорядоченности, полноты, согласованности, нормальности и не нуждаются в дополнительной аппроксимации. В отличие от известных методов, алгоритм не требует значительных вычислительных ресурсов, привлечения специализированного программного обеспечения, настройки параметров или формирования обучающей выборки.

Реализация алгоритма создает условия для поддержки нечеткого поиска в базе данных средствами языка SQL, повышая тем самым уровень интеллектуальности системы и обеспечивая пользователю средства общения на естественном языке. Определенные в результате работы алгоритма термы лингвистических переменных могут быть использованы в нечетких правилах базы знаний информационной системы и при выполнении нечеткого вывода.

Ключевые слова: реляционная база данных; язык SQL; нечеткая логика; лингвистическая переменная; нечеткое множество; функция принадлежности.

Цитирование: Чуйкова Е.Н., Галушка В.В. Эвристический алгоритм формирования термов числовой лингвистической переменной // Бизнес-информатика. 2018. № 3 (45). С. 29–38.
DOI: 10.17323/1998-0663.2018.3.29.38.

Введение

Ядром любой информационной системы является база данных, хранящая обрабатываемую системой информацию, и одной из функций системы является поиск в базе данных требуемой информации. Сегодня наиболее широко распространены реляционные базы данных, поддерживающие поиск информации средствами языка SQL. Формулировка поискового запроса на SQL требует задания конкретных диапазонов значений запрашиваемых данных, что зачастую невозможно из-за отсутствия подобной информации. Кроме того, пользователю, особенно неопытному, более привычно оперировать качественными критериями поиска, определяемыми вербально. При этом также повышается комфортность взаимодействия пользователя с системой.

Для реализации информационного поиска в базе данных на основе качественных характеристик применим аппарат нечеткой логики, который предполагает использование лингвистических переменных и решение задачи формирования соответствующих им наборов базовых термов (нечетких множеств), задающих количественную интерпретацию применяемых качественных характеристик [1–5].

Выполнение нечеткого поискового запроса в реляционной базе данных предполагает его преобразование в инструкцию стандартного языка SQL. В работе [6] описана такая процедура преобразования, реализуемая средствами графического интерфейса информационной системы. При этом значения функций принадлежности используемых нечетких множеств рассчитываются «на лету» в процессе выполнения SQL-запроса. Термы лингвистических переменных представлены параметрическими нечеткими числами с трапецеидальными и треугольными функциями принадлежности, расчет значений которых легко выполним с помощью инструкций языка SQL, не предназначенного для сложных вычислений.

В работе [6] определение параметров термов основано на предположении о равномерном распределении данных, выбираемых из базы данных, что ограничивает область применения предложенной методики и может привести к неприемлемым результатам в тех случаях, когда данное предположение неверно. В частности, при неравномерном распределении экспериментальных данных может возникнуть ситуация, когда в основание каких-ли-

бо термов вообще не попадет ни одного значения из базы данных. Для преодоления указанных недостатков параметры термов следует вычислять с учетом распределения экспериментальных данных, причем таким образом, чтобы основания термов включали приблизительно равное количество имеющихся в базе данных значений.

Функции принадлежности термов лингвистической переменной традиционно формируют на основе экспертной информации, что препятствует автоматизации процедуры их построения, поэтому многие исследователи направили свои усилия на разработку алгоритмических методов их формирования. В работах [7; 8] приведен обзор известных на сегодняшний день методов автоматизированного построения функций принадлежности. Среди них можно выделить методы индуктивного логического вывода [9], нечеткой кластеризации c -средних [10–13], нейронных сетей [14; 15], гистограмм [16], методы на основе нечеткой энтропии и других специальных мер [17; 18], генетические [19–21], муравьиные [22], эвристические алгоритмы [23], методы роя частиц [24]. Характеристики указанных методов представлены в таблице 1 [8].

Все перечисленные методы разработаны для определенной области применения и предназначены для классификации, распределяя экспериментальные данные по нечетким множествам. При этом они не гарантируют равномерное распределение с приблизительно одинаковым числом элементов в каждом множестве.

В работе [25] описан способ разбиения исходной выборки значений на интервалы, содержащие одинаковое число значений, но при таком разбиении одинаковые значения могут попасть в разные интервалы, что противоречит цели классификации.

Функции принадлежности, вычисляемые с помощью указанных выше методов, не всегда обладают требуемыми свойствами упорядоченности, полноты, согласованности, нормальности [2; 4] и нуждаются в дополнительной аппроксимации. Например, получаемые по методу роя частиц Гауссовы функции принадлежности являются субнормальными [8].

Для существующих алгоритмических методов построения функций принадлежности характерна достаточно высокая вычислительная сложность. При использовании нейронных сетей необходимо формирование обучающей выборки. Генетические, муравьиные алгоритмы, методы роя частиц требуют

Таблица 1.

**Характеристики методов автоматизированного
построения функций принадлежности**

Методы	Характеристики			
	Источник информации	Область применения	Форма функции принадлежности	Число нечетких множеств
Нейронные сети	набор данных	классификация	произвольная	фиксированное
Гистограммы	набор данных	распознавание образов, классификация	Гауссова	произвольное
Нечеткая кластеризация <i>c</i> -средних	набор данных	классификация	треугольная, трапецидальная	фиксированное
Генетические алгоритмы	набор данных и экспертные оценки	контроллеры	треугольная, трапецидальная, Гауссова	фиксированное
Муравьиные алгоритмы	набор данных	анализ данных, контроллеры	произвольная	произвольное
Методы роя частиц	набор данных и экспертные оценки	контроллеры, обработка изображений	Гауссова, треугольная, S-подобная	фиксированное
Другие методы	набор данных	классификация, контроллеры	треугольная, Гауссова	2–9

задания целевой функции для поиска решения, а также характеризуются большим временем сходимости и наличием опасности попадания в локальный оптимум. Реализация многих из указанных методов основывается на использовании специализированного программного обеспечения.

В данной статье предложен простой в реализации метод автоматизированного формирования функций принадлежности термов лингвистической переменной, учитывающий распределение хранимых в базе данных значений рассматриваемого параметра, обеспечивающий включение в основание термов приблизительно одинакового количества значений и позволяющий получить произвольное количество функций принадлежности, обладающих требуемыми свойствами.

1. Постановка задачи

В таблицах реляционной базы данных хранятся численные значения используемых информационной системой характеристик объектов, оценивать и выбирать которые необходимо на основании качественных нечетких критериев (например, «низкий», «средний», «высокий»). Для выполнения нечеткого поиска следует задать лингвистические переменные, соответствующие оцениваемым характеристикам. Для автоматизированного формирования лингвистической переменной необходим алгоритм, позволяющий определить число и параметры функций принадлежности термов лингви-

стической переменной. Число значений (термов) лингвистической переменной может выбрать пользователь системы. Базовая шкала для лингвистической переменной задается на основе выборки всех значений рассматриваемой характеристики из базы данных и определяется интервалом $U = [u_{\min}, u_{\max}]$, где u_{\min} – минимальное значение рассматриваемой характеристики, u_{\max} – максимальное значение указанной характеристики. Основания термов должны включать приблизительно одинаковое количество содержащихся в базе данных значений оцениваемой характеристики. Набор значений и их частотность могут быть получены из базы данных с помощью SQL-запроса в виде отсортированной в порядке возрастания матрицы $H_{k \times 2}$, где число строк k – количество различных измерений (значений интересующего параметра в таблице базы данных), элементы матрицы h_{i1} – значения i -го измерения, h_{i2} – частоты i -го измерения, $i = 1, \dots, k$. Определяемые функции принадлежности следует задать таким образом, чтобы обеспечивалась возможность оперативного расчета их значений средствами языка SQL, не обладающего вычислительной мощностью универсального языка программирования. Функции принадлежности должны удовлетворять предъявляемым к ним требованиям [2; 4].

Термы лингвистической переменной представим параметрическими нечеткими числами с наиболее распространенными трапецидальными и треугольными функциями принадлежности. При этом минимальный и максимальный термы – тра-

пецеидальные, остальные – треугольные. Выбор указанных видов функций принадлежности также объясняется стремлением обеспечить возможность определения их значений ограниченными средствами языка SQL в процессе выполнения SQL-запроса. Вычисление значений функций принадлежности осуществляется по формуле:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, (x < a) \vee (x > d) \\ 1, b \leq x \leq c \\ \frac{x-a}{b-a}, (a \leq x < b) \wedge (a < b), \\ \frac{d-x}{d-c}, (c < x \leq d) \wedge (c < d) \end{cases} \quad (1)$$

где $a \leq b \leq c \leq d$ – параметры функции принадлежности $\mu(x)$.

Основание каждого терма разделим на два интервала. Число таких интервалов $m = l + 1$, где l – число термов. На рисунке 1 представлен вид функций принадлежности термов лингвистической переменной с указанием их параметров и верхних границ значений упомянутых интервалов. При этом используются следующие обозначения:

T_i – i -й терм;

a_i, b_i, c_i, d_i – параметры i -го терма, $i = 1, \dots, l$;

p_j – верхняя граница значений j -го интервала, $j = 1, \dots, m$.

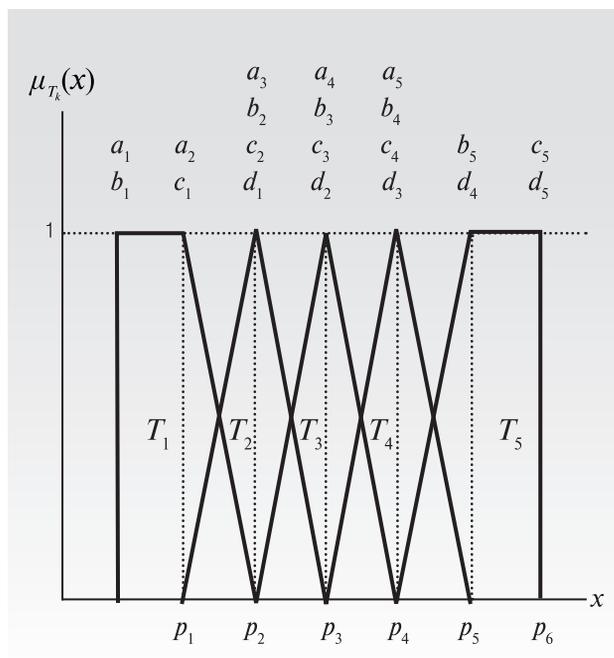


Рис. 1. Функции принадлежности термов лингвистической переменной

Необходимо определить охватываемые основаниями термов интервалы таким образом, чтобы в каждый интервал попадало приблизительно одинаковое число значений рассматриваемой характеристики, причем одинаковые значения должны оказаться в одном и том же интервале. Верхние границы p_j определяемых интервалов используются для вычисления параметров a_j, b_j, c_j, d_j функций принадлежности термов и представляют собой квантили равномерной дискретизации исходной выборки.

На основании упомянутой выше матрицы H число n значений, которые должны содержаться в каждом интервале при равномерном распределении, определяется соотношением:

$$n = \sum_{i=1}^k h_{i2} / m,$$

где $\sum_{i=1}^k h_{i2}$ – общее количество измерений (размер выборки).

Определим вектор \vec{z} , компонентами которого являются значения числа измерений, включаемых в каждый интервал. Тогда j -я компонента вектора \vec{z} – число z_j измерений, включаемых в j -й интервал ($j = 1, \dots, m$):

$$z_j = \sum_{i \in G} h_{i2},$$

где G – множество номеров i строк матрицы H , содержащих значения частот h_{i2} , включаемые в z_j .

Обозначим через i^* максимальный элемент множества $G: i^* = \max_{i \in G} i$. Тогда вычисление квантилей p_j ($j = 1, \dots, l$) сводится к выбору в качестве p_j таких значений h_{i^*} ($i^* = 1, \dots, k-1$) из матрицы H , при которых достигается минимум функции $E(\vec{z}) = \max_{j=1, \dots, l+1} |z_j - n|$. Может также использоваться другой равнозначный критерий оптимальности: $E(\vec{z}) = \sum_{j=1}^{l+1} |z_j - n| \rightarrow \min$.

Значение p_{l+1} совпадает с максимальным значением в выборке: $p_{l+1} = h_{k1}$.

Оптимизация выполняется при следующих ограничениях:

$$\sum_{j=1}^{l+1} z_j = \sum_{i=1}^k h_{i2};$$

для $\forall j$ ($j = 1, \dots, l+1$) $z_j = \sum_{i \in G} h_{i2}, i_{g+1} = i_g + 1$ ($g = i_{\min}, \dots, i_{\max} - 1$), где $i_{\min} = \min_{i \in G} i, i_{\max} = \max_{i \in G} i$; для $\forall j_1, j_2, j_1 \neq j_2$, для которых определены $z_{j_1} = \sum_{i \in G_1} h_{i2}, z_{j_2} = \sum_{i \in G_2} h_{i2}, G_1 \cap G_2 = \emptyset$.

Для получения нетривиальных и невырожденных решений число l определяемых термов должно

удовлетворять условию: $2 \leq l \leq k$. Количество содержащихся в каждом из m интервалов измерений не может быть меньше максимальной частоты измерений, поэтому $m \leq \sum_{i=1}^k h_{i2} / \max_{i=1, \dots, k} h_{i2}$. Следовательно, на число l термов накладывается ограничение:

$$2 \leq l \leq \sum_{i=1}^k h_{i2} / \max_{i=1, \dots, k} h_{i2} - 1 \quad (2)$$

Параметры a_i, b_i, c_i, d_i функций принадлежности термов вычисляются следующим образом:

$$a_j = \begin{cases} h_{11}, j=1 \\ p_{j-1}, 1 < j \leq l \end{cases}; \quad b_j = \begin{cases} h_{11}, j=1 \\ p_j, 1 < j \leq l \end{cases};$$

$$c_j = \begin{cases} p_j, 1 \leq j < l \\ p_{j+1}, j=l \end{cases}; \quad d_j = p_{j+1}, 1 \leq j \leq l.$$

2. Алгоритм формирования функций принадлежности

Рассчитаем фактическое число z_j измерений, попадающих в j -й интервал ($j = 1, \dots, m$) и параметры a_j, b_j, c_j, d_j термов лингвистической переменной по следующему алгоритму:

Шаг 0. Проверить выполнение условий (2) получения нетривиальных и невырожденных решений. Если условия (2) удовлетворяются, то перейти к шагу 1.

Шаг 1. Инициализировать i ($i := 0$).

1.1. Для каждого j ($j = 1, \dots, m - 1$), вычислить $z1_j$ следующим образом:

1.2.1. Инициализировать $z1_j$ ($z1_j := 0$).

1.2.2. Пока $z1_j < n$ накапливать последовательно в $z1_j$ значения h_{i2} :

$$i := i + 1$$

$$z1_j := z1_j + h_{i2}.$$

1.2.3. Если $z1_j \geq n$, то вычислить значения R и Q :

$$R := n - (z1_j - h_{i2})$$

$$Q := z1_j - n.$$

Здесь R – разность между требуемым числом n измерений в интервале и фактическим числом $z1_j$ измерений в j -м интервале без учета i -го измерения; Q – разность между фактическим числом $z1_j$ измерений в j -м интервале (с учетом i -го измерения) и требуемым числом n измерений. Значение R показывает, насколько число измерений в j -м интервале меньше требуемого значения (недостачу), величина Q определяет превышение числа измерений в j -м интервале над требуемым n .

1.2.4. Если недостача без учета последнего измерения меньше превышения ($R < Q$), то исключить из $z1_j$ последнее добавленное измерение h_{i2} :

$$z1_j := z1_j - h_{i2}$$

$$i := i - 1.$$

1.2.5. Определить верхнюю границу $p1_j$ j -го интервала: $p1_j := h_{i1}$.

1.3. Вычислить число $z1_m$ измерений, попадающих в последний m -й интервал:

1.3.1. Инициализировать $z1_m$ ($z1_m := 0$).

1.3.2. Добавить в $z1_m$ все оставшиеся измерения: для всех i ($i = i + 1, \dots, k$)

$$z1_m := z1_m + h_{i2}.$$

1.3.3. Определить верхнюю границу $p1_m$ m -го интервала: $p1_m := h_{k1}$.

Шаг 2. Рассчитать суммарное отклонение δ_1 числа измерений от требуемого n :

$$\delta_1 = \sum_{j=1}^m |z1_j - n|.$$

Шаг 3. Выполнить повторный расчет z_j , просматривая матрицу H в обратном порядке, начиная с последней строки:

3.1. Инициализировать i ($i := k$).

3.2. Определить верхнюю границу $p2_m$ m -го интервала: $p2_m := h_{k1}$.

3.3. Для каждого j ($j = m, \dots, 2$), вычислить $z2_j$ следующим образом:

3.3.1. Инициализировать $z2_j$ ($z2_j := 0$).

3.3.2. Пока $z2_j < n$ накапливать последовательно в $z2_j$ значения h_{i2} :

$$i := i - 1.$$

$$z2_j := z2_j + h_{i2}.$$

3.3.3. Если $z2_j \geq n$, то вычислить значения R и Q :

$$R := n - (z2_j - h_{i2})$$

$$Q := z2_j - n.$$

3.3.4. Если $R < Q$, то исключить из $z2_j$ значение h_{i2} :

$$z2_j := z2_j - h_{i2}$$

$$i := i + 1.$$

3.3.5. Определить верхнюю границу $p2_{j-1}$ предыдущего ($j - 1$)-го интервала:

$$p2_{j-1} := h_{(i-1)1} - h_{i2}.$$

3.4. Вычислить число $z2_1$ измерений, попадающих в первый интервал:

3.4.1. Инициализировать z_2 ($z_{2_i} := 0$).

3.4.2. Добавить в z_2 все оставшиеся измерения: для всех i ($i = i - 1, \dots, l$)

$$z_{2_i} := z_{2_i} + h_{i2}.$$

Шаг 4. Рассчитать суммарное отклонение δ_2 числа измерений от требуемого n :

$$\delta_2 = \sum_{j=1}^m |z_{2_j} - n|.$$

Шаг 5. Вычислить значения параметров a_j, b_j, c_j, d_j термов лингвистической переменной на основе значений вектора p , соответствующего распределению z измерений, для которого достигается меньшее суммарное отклонение δ (если $\delta_1 < \delta_2$, то использовать вектор $p1$, соответствующий распределению $z1$ измерений, в противном случае – $p2$, соответствующий $z2$), следующим образом:

$$a_1 := h_{11}$$

$$b_1 := h_{11}.$$

Пусть $\delta_1 < \delta_2$.

Тогда для каждого j ($j = 1, \dots, m - 1$) выполнить:

если $j = 1 < m - 1$, то $c_j := p1_j, a_{j+1} := p1_j$;

если $j > 1$, то $d_{j-1} := p1_j, b_j := p1_j$;

$$c_{m-1} := p1_m;$$

$$d_{m-1} := p1_m.$$

3. Анализ результатов работы алгоритма

Рассмотрены реализации алгоритма для формирования трех и пяти термов лингвистической переменной, основанные на выборках из базы данных, содержащих 100 и 500 различных значений.

Для выборки из 100 значений и трех термов имеем: число интервалов $m = 4$; число значений, попадающих в один интервал $n = 100/4 = 25$; количество различных измерений (число строк матрицы H , содержащей набор значений и их частотность) $k = 20$. Исходные данные (содержимое матрицы H) и результаты выполнения этапов 1–4 алгоритма представлены в *таблице 2*.

Таблица 2.

Исходные данные и результаты выполнения этапов 1–4 алгоритма

Номер строки матрицы $H(i)$	Элементы матрицы H		Номер интервала (j)	Число измерений в j -м интервале ($z1_j$)	Верхняя граница j -го интервала ($p1_j$)	Отклонение (δ_1)	Число измерений в j -м интервале ($z2_j$)	Верхняя граница j -го интервала ($p2_j$)	Отклонение (δ_2)
	Значение i -го измерения (h_{i1})	Частота i -го измерения (h_{i2})							
1	354	5	1	28	718	12	21	718	10
2	616	5							
3	662	5							
4	695	4							
5	699	2							
6	718	7	2	26	784		27	770	
7	741	2							
8	745	5							
9	758	2							
10	764	2							
11	770	9	3	27	800		24	791	
12	784	6							
13	785	2							
14	790	14							
15	791	2							
16	800	9	4	19	855		28	855	
17	810	11							
18	813	5							
19	814	2							
20	855	1							

Из *таблицы 2* видно, что суммарное отклонение числа измерений от требуемого n при прямом просмотре матрицы H больше, чем при обратном ($\delta_1 > \delta_2$), поэтому параметры функций принадлежности определяются на основе вектора p_2 . Вычисленные значения параметров функций принадлежности (шаг 5 алгоритма) представлены в *таблице 3*.

Таблица 3.

Вычисленные по алгоритму параметры функций принадлежности

Номер функции принадлежности (j)	Параметры j -й функции принадлежности			
	a_j	b_j	c_j	d_j
1	354	354	718	770
2	718	770	770	791
3	770	791	855	855

Графики полученных в результате выполнения алгоритма функций принадлежности для трех и пяти термов показаны на *рисунках 2 и 3* соответственно. Экспериментальные данные, выбранные из базы данных, представлены на рисунках гистограммой.

Вид функций принадлежности, построенных без учета распределения экспериментальных данных для той же выборки значений, изображен на *рисунке 4*.

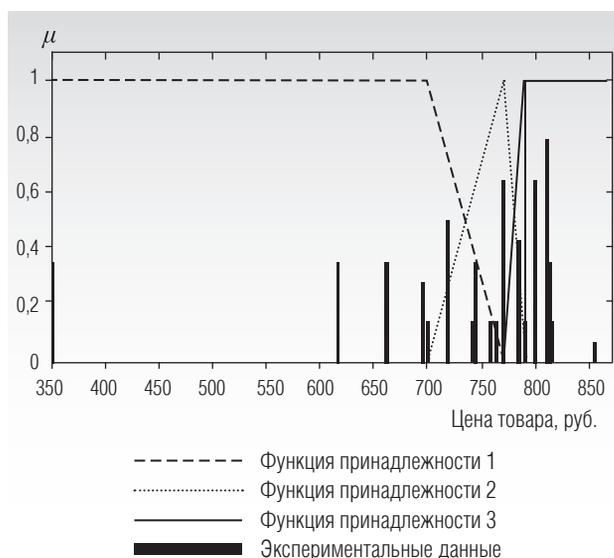


Рис. 2. Функции принадлежности трех термов лингвистической переменной «Цена товара» для выборки из 100 значений цены

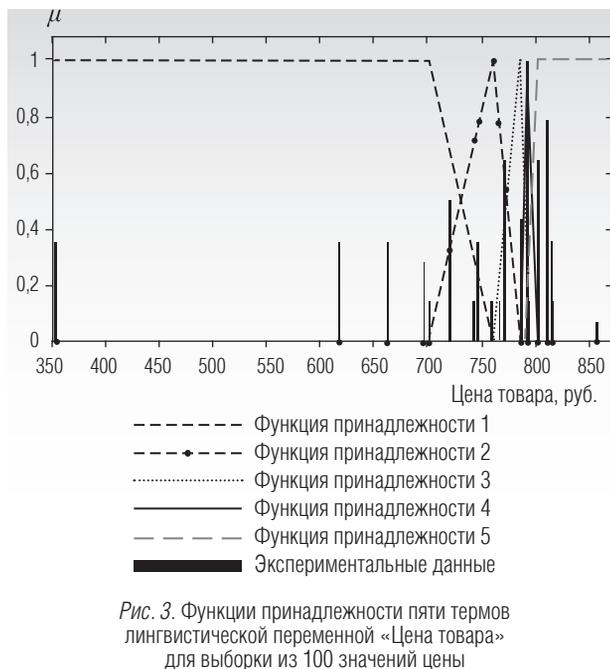


Рис. 3. Функции принадлежности пяти термов лингвистической переменной «Цена товара» для выборки из 100 значений цены

Как показывают *рисунки 2 и 3*, предложенный алгоритм позволяет получить функции принадлежности термов лингвистической переменной, полностью отвечающие всем предъявляемым к ним требованиям [2; 4]. При этом в основание каждого терма попадает приблизительно равное количество значений. Напротив, функции принадлежности, построенные без учета распределения экспериментальных данных (*рисунок 4*), требуемыми свойствами не обладают и нуждаются в дополнительной аппроксимации.

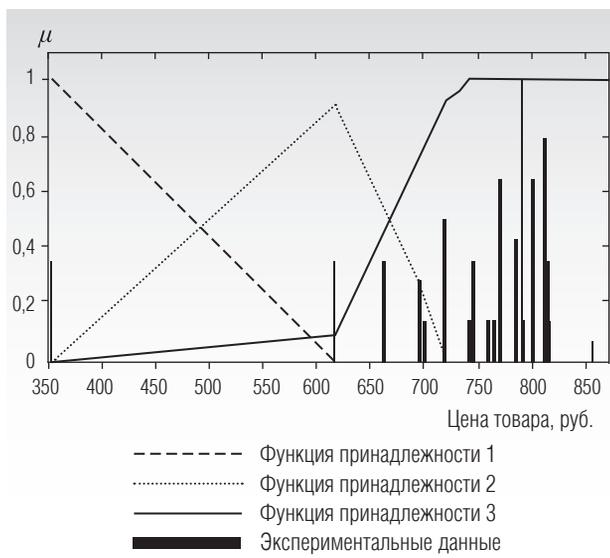


Рис. 4. Функции принадлежности трех термов лингвистической переменной «Цена товара», построенные без учета распределения экспериментальных данных для выборки из 100 значений цены

Заключение

Предложенный алгоритм позволяет автоматизировать процесс построения функций принадлежности термов числовой лингвистической переменной, параметры которых могут быть сохранены в базе данных и затем использованы при формировании нечетких запросов на языке SQL. В отличие от известных методов автоматизированного построения функций принадлежности данный алгоритм прост в реализации, не требует существенных вычислительных ресурсов и привлечения специализированного программного обеспечения, не нуждается в настройке параметров или формировании обучающей выборки, обеспечивает формирование произвольного, заданного пользователем количества функций принадлежности треугольной и трапециoidalной формы. Построенные по данному алгоритму функции принадлежности учитывают распределение экспериментальных данных, при-

чем основания соответствующих термов лингвистической переменной содержат приблизительно одинаковое количество выбранных из базы данных значений. Получаемые по алгоритму функции принадлежности обладают всеми требуемыми свойствами [2; 4] и не нуждаются в дополнительной аппроксимации. В то же время алгоритм разработан для решения описанной задачи и не может претендовать на универсальность.

Реализация алгоритма создает условия для поддержки нечеткого поиска в базах данных с помощью ограниченных вычислительных средств языка SQL, повышая тем самым уровень интеллектуальности системы и обеспечивая пользователю средства общения на естественном языке. Определенные по алгоритму функции принадлежности термов лингвистических переменных могут быть использованы в нечетких правилах базы знаний информационной системы и при выполнении нечеткого вывода. ■

Литература

1. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. [Электронный ресурс]: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1> (дата обращения: 14.10.2013).
2. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В.В. Корнеев и [др.]. М.: Нолидж, 2000.
3. Zadeh L. Fuzzy sets // *Information and Control*. 1965. Vol. 8. No. 3. P. 338–353.
4. Zadeh L. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – II // *Information Sciences*. 1975. Vol. 8. No. 4. P. 301–357.
5. Андрейчиков А.В. Интеллектуальные информационные системы. М.: Финансы и статистика, 2006.
6. Чуйкова Е.Н. Реализация нечеткого выбора оборудования в системе проектирования информационной сети // *Вестник ДГТУ*. 2014. № 3. С. 164–171.
7. Medasani S., Kim J., Krishnapuram R. An overview of membership function generation techniques for pattern recognition // *International Journal of Approximate Reasoning*. 1998. No. 19. P. 391–417.
8. Schwaab A., Nassar S., Filho P. Automatic methods for generation of type-1 and interval type-2 fuzzy membership functions // *Journal of Computer Sciences*. 2015. No. 11. P. 976–987.
9. Kim C., Russell B. Automatic generation of membership function and fuzzy rule using inductive reasoning // *3rd International Conference on Industrial Fuzzy Control and Intelligent Systems (IFIS '93)*. Houston, Texas, 1–3 December 1993. P. 93–96.
10. Chen M., Wang S. Fuzzy clustering analysis for optimizing membership functions // *Fuzzy Sets and Systems*. 1999. No. 103. P. 239–254.
11. Liao T., Celmins A., Hammell R. A fuzzy c-means variant for the generation of fuzzy term sets // *Fuzzy Sets and Systems*. 2001. Vol. 135. No. 2. P. 241–257.
12. Lopes P., Camargo H. Automatic labeling by means of semi-supervised fuzzy clustering as a boosting mechanism in the generation of fuzzy rules // *13th IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI)*. Las Vegas, USA, 8–10 August 2012. P. 279–286.
13. Jamsandekar S., Mudholkar R. Fuzzy classification system by self generated membership function using clustering technique // *BVICAM's International Journal of Information Technology*. 2014. Vol. 6. No. 1. P. 697–704.
14. Wu S., Er M., Gao Y. A fast approach for automatic generation of fuzzy rules by generalized dynamic fuzzy neural networks // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2001. Vol. 9. No. 4. P. 578–594.
15. Castellano G., Castiello C., Fanelli A., Mencar C. Knowledge discovery by a neuro-fuzzy modeling framework // *Fuzzy Sets and Systems*. 2005. No. 149. P. 187–207.
16. Refaey M. Automatic generation of membership functions and rules in a fuzzy logic system // *5th International Conference on Informatics and Applications (ICIA 2016)*. Takamatsu, Japan, 14–16 November 2016. P. 117–122.
17. Cheng H., Chen J. Automatically determine the membership function based on the maximum entropy principle // *Information Sciences*. 1997. Vol. 96. No. 3–4. P. 163–182.
18. Nieradka G., Butkiewicz B. A method for automatic membership function estimation based on fuzzy measures // *International Fuzzy Systems Association World Congress (IFSA)*. Cancun, Mexico, 18–21 June 2007. P. 451–460.
19. Homaifar A., McCormick E. Simultaneous design of membership functions and rule sets for fuzzy controllers using genetic algorithms // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 1995. Vol. 3. No. 2. P. 129–139.
20. Shimojima K., Fukuda T., Hasegawa Y. Self-tuning fuzzy modeling with adaptive membership function, rules, and hierarchical structure based on genetic algorithm // *Fuzzy Sets and Systems*. 1995. Vol. 71. No. 3. P. 295–309.

21. Kaya M., Alhaji R. Integrating multi-objective genetic algorithms into clustering for fuzzy association rules mining // 4th IEEE International Conference on Data Mining (ICDM '04). Brighton, UK, 1–4 November 2004. P. 431–434.
22. An ACS-based framework for fuzzy data mining / T. Hong [et al.] // Expert Systems with Applications. 2009. No. 36. P. 11844–11852.
23. Ishibuchi H., Nozaki K., Tanaka H. Efficient fuzzy partition of pattern space for classification problems // Fuzzy Sets and Systems. 1993. Vol. 59. No. 3. P. 295–304.
24. Permana K., Zaiton S. Fuzzy membership function generation using particle swarm optimization // International Journal of Open Problems in Computer Science and Mathematics. 2010. Vol. 3. No. 1. P. 27–41.
25. Piatetsky-Shapiro G., Connell C. Accurate estimation of the number of tuples satisfying a condition // ACM SIGMOD Record. 1984. Vol. 19. No. 2. P. 256–276.

A heuristic algorithm for generating the numerical terms of a linguistic variable

Elena N. Chujkova

*Associate Professor, Department of Computer Systems and Information Security
Don State Technical University
Address: 1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344000, Russia
E-mail: elenchu@mail.ru*

Vasilij V. Galushka

*Associate Professor, Department of Computer Systems and Information Security
Don State Technical University
Address: 1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344000, Russia
E-mail: galushkavv@yandex.ru*

Abstract

In this paper we describe an easy-to-implement algorithm for automated generation of the linguistic variable term membership functions to allow for information search in a relational database based on qualitative criteria by means of the SQL query language.

The proposed algorithm makes it possible to calculate the parameters of the triangular and trapezoid membership functions taking into account the distribution of the variable of interest stored in the database. The algorithm defines the intervals covered by the term bases, so that each interval contains about the same number of values. Upper bounds of the defined intervals are used to calculate the parameters of membership functions. The parameters of the membership functions generated with this algorithm can be easily calculated with the limited computational means of the SQL language.

We review the algorithm realizations for the generation of 3 and 5 terms of a linguistic variable based on a sample from a database containing 100 or 500 different values.

The membership functions obtained through the algorithm have the required properties of orderliness, completeness, consistency and normality. They do not require further approximation. Unlike the known methods, the algorithm does not require significant computing resources, the use of specialized software, settings configuring, or a training set formation.

The algorithm implementation creates opportunities to support fuzzy search queries in relational databases using the means of the SQL language, as limited as they are. Thus, the system's level of intelligence would be increased, and the user would be provided with the means of search query formulation in a natural language. The linguistic variable terms generated using our algorithm can be used within the framework of a fuzzy rule-based knowledge base of an information system, as well as to perform fuzzy inference.

Key words: relational database; SQL language; fuzzy logic; linguistic variable; fuzzy set; membership function.

Citation: Chujkova E.N., Galushka V.V. (2018) A heuristic algorithm for generating the numerical terms of a linguistic variable. *Business Informatics*, no. 3 (45), pp. 29–38. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.3.29.38.

References

1. Shtovba S. (2001) *Vvedenie v teoriyu nechetkih mnozhestv i nechetkuyu logiku* [Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic]. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1> (accessed 14 October 2013) (in Russian).
2. Korneev V.V., Gareev A.F., Vasjutin S.V., Rajh V.V. (2000) *Bazy dannyh. Intellektual'naya obrabotka informatsii* [Databases. Intelligent processing of information]. Moscow: Knowledge (in Russian).
3. Zadeh L. (1965) Fuzzy sets. *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353.
4. Zadeh L. (1975) The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – II. *Information Sciences*, vol. 8, no. 4, pp. 301–357.
5. Andrejchikov A.V. (2006) *Intellektual'nye informatsionnye sistemy* [Intelligent information systems]. Moscow: Finance and Statistics (in Russian).
6. Chujkova E.N. (2014) Realizatsiya nechetkogo vybora oborudovaniya v sisteme proektirovaniya informatsionnoy seti [Realization of the fuzzy selection of equipment in the information network design system]. *Vestnik of Don State Technical University*, no. 3, pp. 164–171 (in Russian).
7. Medasani S., Kim J., Krishnapuram R. (1998) An overview of membership function generation techniques for pattern recognition. *International Journal of Approximate Reasoning*, no. 19, pp. 391–417.
8. Schwaab A., Nassar S., Filho P. (2015) Automatic methods for generation of type-1 and interval type-2 fuzzy membership functions. *Journal of Computer Sciences*, no. 11, pp. 976–987.
9. Kim C., Russell B. (1993) Automatic generation of membership function and fuzzy rule using inductive reasoning. Proceedings of the 3rd International Conference on Industrial Fuzzy Control and Intelligent Systems (IFIS '93), Houston, Texas, 1–3 December 1993, pp. 93–96.
10. Chen M., Wang S. (1999) Fuzzy clustering analysis for optimizing membership functions. *Fuzzy Sets and Systems*, no. 103, pp. 239–254.
11. Liao T., Celmins A., Hammell R. (2001) A fuzzy c-means variant for the generation of fuzzy term sets. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 135, no. 2, pp. 241–257.
12. Lopes P., Camargo H. (2012) Automatic labeling by means of semi-supervised fuzzy clustering as a boosting mechanism in the generation of fuzzy rules. Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI). Las Vegas, USA, 8–10 August 2012, pp. 279–286.
13. Jamsandekar S., Mudholkar R. (2014) Fuzzy classification system by self generated membership function using clustering technique. *BVICAM's International Journal of Information Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 697–704.
14. Wu S., Er M., Gao Y. (2001) A fast approach for automatic generation of fuzzy rules by generalized dynamic fuzzy neural networks. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 9, no. 4, pp. 578–594.
15. Castellano G., Castiello C., Fanelli A., Mencar C. (2005) Knowledge discovery by a neuro-fuzzy modeling framework. *Fuzzy Sets and Systems*, no. 149, pp. 187–207.
16. Refaey M. (2016) Automatic generation of membership functions and rules in a fuzzy logic system. Proceedings of the 5th International Conference on Informatics and Applications (ICIA 2016). Takamatsu, Japan, 14–16 November 2016, pp. 117–122.
17. Cheng H., Chen J. (1997) Automatically determine the membership function based on the maximum entropy principle. *Information Sciences*, vol. 96, no. 3–4, pp. 163–182.
18. Nieradka G., Butkiewicz B. (2007) A method for automatic membership function estimation based on fuzzy measures. Proceedings of the International Fuzzy Systems Association World Congress (IFSA). Cancun, Mexico, 18–21 June 2007, pp. 451–460.
19. Homaifar A., McCormick E. (1995) Simultaneous design of membership functions and rule sets for fuzzy controllers using genetic algorithms. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 3, no. 2, pp. 129–139.
20. Shimojima K., Fukuda T., Hasegawa Y. (1995) Self-tuning fuzzy modeling with adaptive membership function, rules, and hierarchical structure based on genetic algorithm. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 71, no. 3, pp. 295–309.
21. Kaya M., Alhaji R. (2004) Integrating multi-objective genetic algorithms into clustering for fuzzy association rules mining. Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Data Mining (ICDM '04). Brighton, UK, 1–4 November 2004, pp. 431–434.
22. Hong T., Tung Y., Wang S., Wu M., Wu Y. (2009) An ACS-based framework for fuzzy data mining. *Expert Systems with Applications*, no. 36, pp. 11844–11852.
23. Ishibuchi H., Nozaki K., Tanaka H. (1993) Efficient fuzzy partition of pattern space for classification problems. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 59, no. 3, pp. 295–304.
24. Permana K., Zaiton S. (2010) Fuzzy membership function generation using particle swarm optimization. *International Journal of Open Problems in Computer Science and Mathematics*, vol. 3, no. 1, pp. 27–41.
25. Piatetsky-Shapiro G., Connell C. (1984) Accurate estimation of the number of tuples satisfying a condition. *ACM SIGMOD Record*, vol. 19, no. 2, pp. 256–276.

Влияние потенциала и процессов управления знаниями на эффективность малых и средних предприятий

Н.Г. Азяби

доцент департамента информационных систем управления
колледж бизнес-администрирования
Университет Джазана
Адрес: Jazan, 45142, Saudi Arabia
E-mail: ngazyabi@jcba.edu.sa

Аннотация

Управление знаниями – это деятельность, в ходе которой знания эффективно накапливаются, распространяются и применяются, что приводит к повышению продуктивности и эффективности работы организации. Основная цель данного исследования – проанализировать влияние процессов и возможностей управления знаниями на эффективность малых и средних предприятий (МСП) в Саудовской Аравии. Возможности управления знаниями включают персонал, информационные технологии (ИТ), организационную структуру и организационную культуру, которые в данном исследовании характеризуются Т-образными компетенциями, ИТ-поддержкой, уровнем централизации и обучением. Другим аспектом являются процессы управления знаниями, включающие доступ к знаниям, их создание, внедрение, представление, стимулирование, использование, оценку и трансфер. Эффективность управления знаниями измеряется посредством двух факторов, к числу которых относятся финансовая эффективность организации и удовлетворенность клиентов.

Исследование основано на обзоре литературы по управлению знаниями, включая процессы, возможности и эффективность. На этой основе разработана модель исследования и выдвинуты гипотезы. Данные получены путем опроса, в котором приняли участие 126 менеджеров, работающих в МСП разных отраслей в Саудовской Аравии. С помощью ряда статистических тестов исследование показало, что возможности управления знаниями, ИТ-поддержка, обучение, децентрализация и персонал предприятия вносят значимый вклад в успех практики и процессов управления знаниями, тем самым подтверждая теоретическую модель. Исследование также показало, что процессы управления знаниями, включая доступ к знаниям, их создание, оценку, трансфер, использование, внедрение, представление и стимулирование, позитивно связаны с эффективностью МСП в Саудовской Аравии.

Ключевые слова: управление знаниями; ИТ-поддержка; Саудовская Аравия; организационная культура; обучение; эффективность.

Цитирование: Азяби Н.Г. Влияние потенциала и процессов управления знаниями на эффективность малых и средних предприятий // Бизнес-информатика. 2018. № 3 (45). С. 39–52.
DOI: 10.17323/1998-0663.2018.3.39.52.

Введение

Концепция управления знаниями, возникшая в 1990-х годах, относится к целостному управлению знаниями и информацией в рамках организации. Это процесс, при котором

знания эффективно создаются, распределяются и используются [1]. Управление знаниями предполагает интегрированный подход к распознаванию, хранению, анализу, извлечению и распространению всех информационных активов организации, кото-

рые включают процедуры, политики, документы, базы данных, а также неформализованный опыт и компетенции отдельных сотрудников [2].

Основная цель управления знаниями в организации – повысить производительность и эффективность путем получения и использования знаний, конвертируя их в удобную форму, а также систематически и целенаправленно внедрять знания в повседневную деятельность организации. Для понимания концепции управления знаниями важно знать инновационный процесс организации, в рамках которого сотрудники применяют творческие проблемно-ориентированные методы. Динамика современного конкурентного рынка порождает необходимость в согласованности и консолидации знаний для создания долгосрочных ценностей. Многие компании во всем мире активно внедряют методы управления знаниями для обеспечения конкурентоспособной устойчивости [3].

Взаимосвязи между процессами, эффективностью и возможностями управления знаниями рассмотрены разными исследователями, например, в работах [4] и [5]. Некоторые исследования делают акцент на взаимосвязи между возможностями и процессами управления знаниями, в то время как другие сфокусированы на связи возможностей управления знаниями и эффективности предприятия [6; 7]. В то же время лишь немногие эмпирические исследования посвящены интегрированной модели управления знаниями. На основе соответствующих теорий авторы работы [4] разработали интегрированный подход к характеристикам управления знаниями и предложили схему, включающую эффективность предприятия, промежуточные результаты, процессы управления знаниями и способы их реализации. Важно определить и оценить разные внутренние факторы организации, которые являются решающими для всестороннего измерения эффективности управления знаниями. Это позволяет лучше понять причины успешного или неудачного управления знаниями.

В настоящем исследовании рассматриваются структурные связи между различными факторами в цепи управления знаниями – возможностями управления знаниями, процессами управления знаниями, а также эффективностью малых и средних предприятий (МСП). Исследование включает два этапа. Первый этап предусматривает обзор литературы по вопросам эффективности, процессов и возможностей управления знаниями для оценки основных элементов ценностной цепи управле-

ния знаниями. В результате предлагается интегрированная модель управления знаниями. На втором этапе для оценки этой модели проведен опрос представителей МСП Саудовской Аравии.

Похожее исследование было проведено авторами работы [7] для анализа структурной взаимосвязи между возможностями управления знаниями, процессами управления знаниями и организационной эффективностью. Однако настоящее исследование рассматривает эти взаимосвязи в ином контексте. Поскольку известно, что размер организации влияет на ее деятельность и решения, имеет смысл сделать предположение, что результаты, полученные для крупных предприятий, неприменимы к МСП. Кроме того, особенности предприятий Саудовской Аравии, где особенности культуры и законодательства могут оказать влияние на деятельность организаций, являются малоизученными. Данное исследование дополняет имеющиеся работы по управлению знаниями в контексте саудовских МСП путем ответа на следующий вопрос: «насколько процессы и возможности управления знаниями влияют на эффективность МСП в Саудовской Аравии?»

1. Обзор литературы

В данном разделе представлен обзор имеющейся литературы, где рассматриваются отдельные компоненты исследования: возможности управления знаниями, процессы управления знаниями и организационная эффективность.

1.1. Возможности управления знаниями

Для обеспечения конкурентоспособности организации должны использовать существующие знания и создавать новые. Способность организации управлять имеющимися знаниями и создавать новые определяет положение организации на рынке. Эта задача требует от организаций умения использовать накопленные знания на основе распознавания, усвоения и использования новой информации для создания новых возможностей [8]. Для эффективного управления знаниями предшествующие исследования рассматривают возможности управления знаниями на основе организационных ресурсов или предпосылок [3; 4; 9–11].

Инфраструктуру управления знаниями можно определить как механизм, позволяющий организации создавать знания целенаправленно и постоянно [12]. В работе [12] выявлены пять составляющих

инфраструктуры управления знаниями: а) персонал; б) взаимоотношения между сотрудниками; в) организационная структура; г) коммуникации между сотрудниками; д) стремление создавать знания. В работе [8] утверждается, что для использования своих интеллектуальных активов организации должны прилагать определенные усилия, в частности, уделять внимание вопросам организационной структуры, технологического потенциала и способностей сотрудников.

В работе [11] показано, что гармоничное сочетание организационных практик управления знаниями, создания знаний, их поиска и хранения может положительно влиять на эффективность организации. Согласно [11], практика управления знаниями включает: а) создание репозитория знаний; б) обучение персонала; в) обсуждение вопросов развития персонала; г) деятельность сообществ; д) неформальный обмен знаниями.

В работе [3] представлен эмпирический анализ модели управления знаниями, где управление знаниями рассматривается с точки зрения его возможностей. Эта модель предполагает наличие некоторых условий эффективности управления знаниями, таких как инфраструктура знаний (организационная культура, структура и технологии) и процессы управления знаниями (приобретение, преобразование, применение и сохранение знаний). В работе [4] обсуждаются возможности и процессы управления знаниями и объясняется, что управление знаниями внутри организации включает как сами процессы управления, так и инструменты, поддерживающие эти процессы. При этом инструменты (возможности) управления знаниями включают ИТ-поддержку, сотрудников, а также структуру и культуру организации.

1.2. Процессы управления знаниями

Процессы управления знаниями рассматриваются в ряде работ, где концепция управления знаниями представлена в виде совокупности ряда процессов [3; 4; 13–15]. В качестве ключевых выделяются такие процессы, как получение знаний, трансфер знаний, создание знаний, интеграция знаний, использование знаний и сохранение знаний [16–19].

Например, в работе [20] процессы управления знаниями рассматриваются как создание, трансфер, хранение и использование знаний. В работе [3] рассматриваются четыре основных процесса: получение знаний, преобразование знаний, использование знаний и защита знаний.

В другом исследовании [4] рассматривается только создание знаний, с использованием модели SECI (socialization, externalization, combination, internalization), представленной в работе [21]. Еще одна классификация процессов управления знаниями [22] включает:

- ◆ создание новых знаний и использование ценных внешних знаний;
- ◆ использование стимулов и создание культуры, способствующей накоплению знаний, а также документирование знаний с использованием программного обеспечения, баз данных и документов;
- ◆ систематизацию доступных знаний и их интеграцию в правила и процедуры организации;
- ◆ распространение имеющихся знаний и определение их влияния и ценности для организации.

1.3. Организационная эффективность

Оценка эффективности является одним из наиболее важных этапов управленческой деятельности. На основе оценки эффективности осуществляется выработка и реализация стратегии организации, поскольку эта оценка определяет, насколько успешно организация продвигается к решению своих стратегических задач и показывает акционерам результаты своей деятельности. Традиционные способы оценки эффективности, связанные в основном с финансовой отчетностью, позволяют организации сопоставлять результаты своей деятельности с характеристиками других предприятий. Однако финансовые показатели — не единственные, позволяющие оценивать эффективность организации. Нематериальные активы, такие как знания, также (наряду с материальными активами) играют существенную роль в обеспечении успеха и ценности организации. Этим объясняются многочисленные попытки оценивать эффективность организации на основе ее материальных и нематериальных активов [4; 6; 23–27].

В исследовании [28], посвященном оценке организационной эффективности, вводится показатель нематериальных активов (intangible asset monitor, IAM). Он используется для оценки эффективности нематериальных активов, включающих в себя рынок, структуру и человеческий капитал. Эти индикаторы эффективности, представленные при помощи показателя нематериальных активов, просты и понятны. Они классифицируют интеллектуальный капитал на внешнюю и внутреннюю структуру, а также потенциал сотрудников. Такой подход представляет три индикатора эффективно-

сти: устойчивость, эффективность и инновационность/рост.

Одним из наиболее известных инструментов оценки эффективности на стратегическом уровне является сбалансированная система показателей (balanced scorecard, BSC), предложенная Р. Капланом и Д. Нортеном [24]. Сбалансированная система показателей предусматривает оценку организационной эффективности с помощью четырех перспектив: финансовой перспективы, перспективы клиентов, перспективы внутренних процессов и перспективы инноваций и обучения. В предшествующих исследованиях организационная эффективность оценивалась с учетом доли на рынке, размера бизнеса, инновационности, темпов роста, прибыльность и субъективно выраженного успеха, в сравнении с основными конкурентами, принимая во внимание как операционные, так и финансовые аспекты.

В работе [23] приведены цели управления знаниями: улучшение работы сотрудников путем расширенной кооперации, инноваций или создания новых знаний. Для поддержки управления знаниями предлагается создавать практические сообщества и репозитории знаний. Автором работы [25] также исследована важность управления знаниями и предложена методология измерения организационной эффективности с помощью сбалансированной системы показателей управления знаниями. Согласно [25], управление знаниями – это процесс, который способствует интеграции, сотрудничеству и объединению сотрудников.

2. Модель исследования

В данном разделе представлены основные переменные, выбранные на основе обзора литературы, и определены основные факторы, определяющие возможности и процессы управления знаниями. Также обсуждаются основные гипотезы исследования.

2.1. Переменные

2.1.1. Возможности управления знаниями

Возможности управления знаниями, рассматриваемые в рамках модели исследования, включают информационные технологии (ИТ), организационную культуру, структуру организации и ее персонал. Предполагается, что на управление знаниями оказывают влияние ИТ и их возможности. В эпоху инноваций использование ИТ играет существенную роль в успехе любой организации. ИТ широко используются для

создания сетей или каналов связи для коммуникаций между людьми и многократного использования закодированных знаний. ИТ также играют значительную роль в создании новых знаний, способствуя коммуникациям, а также обеспечивая распределение, использование и хранение знаний [29]. Поэтому настоящее исследование уделяет основное внимание возможностям ИТ в форме *ИТ-поддержки*, являющейся существенной частью системы управления знаниями.

Организационная культура также играет важную роль в успехе управления знаниями. Культура определяет стандарты и ценности организации и часто считается наиболее важным фактором управления знаниями. Культура обмена знаниями внутри организации положительно влияет на долгосрочный успех, связанный с обучением. Поэтому наше исследование рассматривает *обучение* как один из параметров организационной культуры.

Третьим важным фактором является организационная структура, которая может как препятствовать, так и способствовать управлению знаниями. Влияние организационной структуры на управление знаниями широко признано [30]. В настоящем исследовании структура предприятия измеряется степенью *централизации*, которая является главным структурным фактором и определяет концентрацию принятия решений и контроля внутри организации.

Поскольку персонал организации является ключевым звеном в создании и распространении знаний, эффективное управление персоналом также очень важно. Организации приобретают компетенции и знания путем привлечения новых сотрудников, обладающих умениями и уникальными знаниями. В частности, *T-образные компетенции* сотрудников считаются частью основного потенциала организации. Квалификация отдельных сотрудников может способствовать синергическим коммуникациям внутри организации.

2.1.2. Процессы управления знаниями

Как показывают предшествующие исследования, процессы и возможности управления знаниями необходимы для организационной эффективности. В то же время отмечается, что возможности организации также вносят вклад в процессы управления знаниями. Поэтому очень важно понимать влияние возможностей организации на ее процессы управления знаниями. Признание важности процессов управления знаниями основывается на процессном взгляде на деятельность организации.

В данном исследовании рассматриваются восемь процессов управления знаниями, предложенных в работе [22]: создание знаний (*создание*), доступ к внешним знаниям (*доступ*), стимулирование роста знаний (*стимулирование*), документирование знаний (*представление*), внедрение знаний в процессы и процедуры (*внедрение*), использование знаний при принятии решений (*использование*), трансфер знаний внутри организации (*трансфер*) и оценка влияния и ценности знаний (*оценка*).

2.1.3. Эффективность малых и средних предприятий

Поведение сотрудников и менеджеров в значительной степени определяется организационной эффективностью. С точки зрения управления знаниями, эффективность организации можно измерить несколькими методами, например, при помощи сбалансированной системы показателей, оценки нематериальных благ, интеллектуального капитала и финансовых показателей. Согласно Р. Каплану и Д. Нортону [24], по сравнению с оценкой материальных и нематериальных благ, а также оценкой интеллектуального капитала, метод сбалансированной системы показателей более предпочтителен, поскольку он показывает причинно-следственные связи между стратегиями организации и компонентами знаний.

Для оценки организационной эффективности в настоящем исследовании применяется модифицированный метод сбалансированной системы показателей, который уделяет основное внимание удовлетворенности клиентов и финансовым показателям. Такой же подход рассматривался в работе [7].

Исследовательская модель представлена на рисунке 1. Возможности управления знаниями включают персонал, ИТ, организационную структуру и организационную культуру, которые представлены ИТ-поддержкой, централизацией, Т-образными

компетенциями и обучением. Согласно данной модели, процессы управления знаниями включают доступ к знаниям, их создание, внедрение, представление, стимулирование, использование, оценку и трансфер. Кроме того, эффективность управления знаниями подразделяется на *финансовую эффективность* организации и *удовлетворенность клиентов*.

2.2. Гипотезы

Гипотезы исследования выдвинуты на основе обзора литературы и теоретических положений управления знаниями. Эти гипотезы касаются ИТ-поддержки, обучения, централизации, Т-образных компетенций и эффективности организации.

2.2.1. Т-образные компетенции

Согласно [31], Т-образные компетенции являются одновременно широкими и глубокими, что соответствует горизонтальной и вертикальной линиям в букве «Т». Как отмечено выше, в данном исследовании Т-образные компетенции используются для оценки одной из переменных, определяющих потенциал управления знаниями, а именно – персонала. Люди, обладающие Т-образными компетенциями, могут осваивать различные предметные области. Такие сотрудники очень полезны для создания новых знаний, поскольку они способны объединять знания из различных областей.

Сотрудники с Т-образными компетенциями могут сочетать практические и теоретические знания, они также способны видеть, как происходит взаимодействие между разными областями знаний. Поэтому такие сотрудники способны расширять свои компетенции и создавать новые знания на основе нескольких областей деятельности. Отсюда вытекает следующая гипотеза о Т-образных компетенциях:

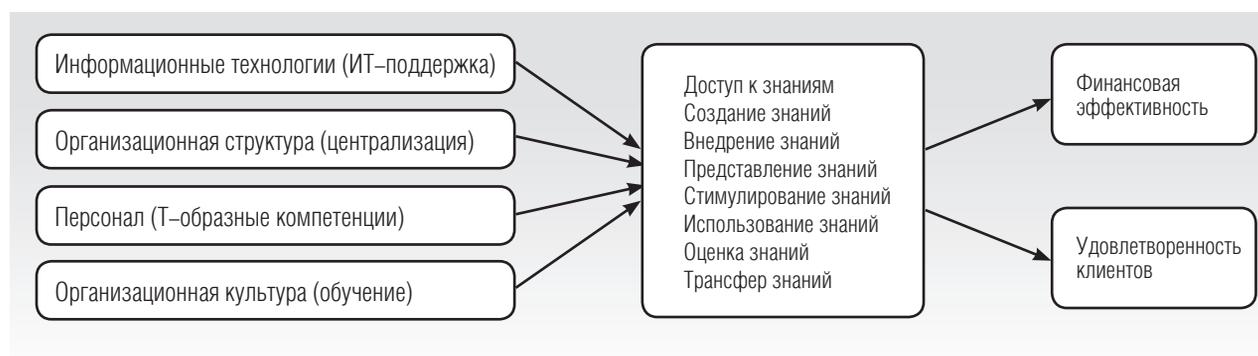


Рис. 1. Модель исследования

Гипотеза 1: Существует положительная связь между процессами управления знаниями и Т-образными компетенциями членов организации.

2.2.2. Централизация

В данном исследовании структура организации измеряется степенью централизации. Централизация в организации мешает частому обмену идеями и коммуникациям между отделами, поскольку много времени уходит на поддержку коммуникативных каналов. В результате идеи либо не полностью доходят до адресатов, либо искажаются [32].

Напротив, децентрализованная организационная структура способствует обмену знаниями, а сотрудники в большей степени стремятся участвовать в процессе создания знаний. В такой обстановке рабочие правила не столь важны, а процессы управления знаниями являются более гибкими. Следовательно, повышенная гибкость организационной структуры может способствовать управлению знаниями. Гипотеза, касающаяся организационной структуры, такова:

Гипотеза 2: Существует отрицательная связь между процессами управления знаниями и степенью централизации.

2.2.3. ИТ-поддержка

Эта часть исследования объясняет, как использование или внедрение информационных технологий в организации способствует управлению знаниями. Многие исследования показали важную связь между использованием ИТ и эффективностью процессов управления знаниями. Таким образом, ИТ являются важной частью управления знаниями [3].

ИТ позволяют организациям собирать, хранить знания, с также обмениваться знаниями быстро и в больших объемах. Более того, отрывочные фрагменты знаний интегрируются с помощью хорошо развитых технологий. Такая интеграция способна ликвидировать барьеры между разными отделами. ИТ поддерживают все виды процессов управления знаниями, включая их создание, трансфер, использование, стимулирование и т.д. Таким образом, гипотеза, касающаяся ИТ-поддержки, формулируется следующим образом:

Гипотеза 3: Существует положительная связь между процессами управления знаниями и ИТ-поддержкой.

2.2.4. Обучение

Приобретение новых знаний осуществляется посредством обучения членов организации, которые хотят и могут применять знания для принятия решений. Для эффективности процесса управления знаниями необходимо, чтобы в организации была развита культура обучения и обеспечены различные средства обучения, такие как наставничество, тренинги и образование. Обучение способствует не только эффективности процессов управления знаниями, но также и общему успеху организации. Гипотеза о культуре обучения такова:

Гипотеза 4: Существует положительная связь между процессами управления знаниями и обучением.

2.2.5. Эффективность организации

В настоящем исследовании эффективность организации оценивается при помощи сбалансированной системы показателей с учетом финансовой и клиентской перспектив, в сравнении с основными конкурентами. Цели организации обычно включают различные аспекты эффективности, такие как инновации, прогресс или жизнеспособность. Мы можем рассматривать эффективность организации как результат процесса управления знаниями. Это означает, что улучшение процесса управления знаниями ведет к повышению эффективности организации. Следовательно, гипотезы таковы:

Гипотеза 5: Существует положительная связь между финансовой эффективностью и процессами управления знаниями;

Гипотеза 6: Существует положительная связь между клиентской эффективностью и процессами управления знаниями.

3. Методология

В данной работе применен количественный подход, который заключается в применении статистических моделей, функций и методов. Влияние возможностей и процессов управления знаниями на эффективность управления знаниями изучается при помощи корреляционного анализа и дескриптивного (описательного) исследования. Автор работы [33] объясняет, что в корреляционном моделировании измеряются переменные и определяется связь между ними. В ходе дескриптивного исследования используется метод опросов.

Опрос охватывал 126 менеджеров МСП, работающие в разных секторах экономики. Таким образом,

источник данных является первичным, поскольку данные получены непосредственно от опрашиваемых.

Для всех переменных (конструктов) были разработаны оценки, принимающие во внимание несколько параметров. Такие оценки были использованы для повышения точности результатов и оценки переменных или интересующих конструктов. Они были также использованы в процессе измерения для повышения достоверности и надежности оценок. Конструкты, относящиеся к процессам управления знаниями, их возможностям и эффективности, оценивались при помощи 5-балльной шкалы Ликерта.

Опросник, использованный в данном исследовании, был создан на основе опросника из работы [7]. Он включает в себя 34 пункта, которые относятся к возможностям, процессам и эффективности управления знаниями. Возможности управления знаниями включают ИТ-поддержку, культуру обучения в организации, централизацию структуры и Т-образные компетенции (таблица 1).

Процесс управления знаниями состоит из следующих компонентов: доступ, создание, использование, внедрение, представление, стимулирование, оценка и трансфер знаний (таблица 2).

Таблица 1.

Возможности управления знаниями

Переменные	Элементы
Информационные технологии (ИТ-поддержка)	Обмен информацией через Интранет
	Карта знаний для источника знаний
	Использование систем управления взаимоотношениями с клиентами (CRM)
	Использование хранилищ данных
	ИТ-поддержка для получения информации
Организационная культура (обучение)	Общие собрания
	Содержание обучения
	Поощрение посещения семинаров и т.д.
	Неформальное личное развитие
	Формальные программы подготовки
Организационная структура (централизация)	Принятие решений без согласования
	Делегирование полномочий
	Необходимость советоваться с другими
	Принятие собственных решений
Персонал (Т-образные компетенции)	Работа без контроля руководителя
	Владение основными знаниями
	Работники – эксперты в своей области
	Работники могут объяснить свои задачи
	Работники с точными знаниями

Таблица 2.

Процессы управления знаниями

Переменные	Элементы
Процессы управления знаниями	Доступ к ценным знаниям
	Использование доступных знаний при принятии решений
	Внедрение знаний в процессы
	Представление знаний в документации и т.п.
	Стимулирование роста знаний
	Создание новых знаний
	Определение ценности знаний
	Трансфер имеющихся знаний

Финансовая и клиентская эффективность МСП оценивались с помощью сбалансированной системы показателей управления знаниями. В исследовании использовались когнитивные меры для оценки финансовой и клиентской эффективности, поскольку трудно сопоставить метрические финансовые данные (например, возврат инвестиций, доходность активов, прибыль) с показателями управления знаниями. Переменные эффективности и их составляющие приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Эффективность

Переменные	Элементы
Финансовая эффективность	Повышенная экономическая добавленная стоимость
	Повышенная чистая прибыль
	Повышенная доля на рынке
	Повышенная доходность инвестиций
Клиентская эффективность	Повышенное удержание клиентов
	Повышенное привлечение клиентов
	Повышенная удовлетворенность клиентов

4. Эмпирический анализ

4.1. Дескриптивный анализ

Отрасли, в которых работают респонденты, представлены для дескриптивного (описательного) анализа в таблице 4.

Согласно таблице, наибольшее число респондентов работает в оптовой торговле и розничной торговле (25,4%). Далее идут консалтинговые и бизнес-услуги (19,8%) и операции с недвижимостью (16,7%). Меньше всего респондентов работает в нефтехимической отрасли – всего 2,4%.

Таблица 4.

Структура респондентов по отраслям

Отрасль	Частота	Процент
Оптовая и розничная торговля	32	25,4
Консалтинг и бизнес-услуги	25	19,8
Операции с недвижимостью	21	16,7
Сервис	15	11,9
Информатика и коммуникации	12	9,5
Строительство и инжиниринг	9	7,1
Банки и страхование	9	7,1
Нефтехимическая промышленность	3	2,4
Всего	126	100,0

Таблица 5 показывает распределение респондентов по департаментам. Больше всего респондентов (57,1%) работает в сфере учета и финансов. Затем идут отдел кадров и производственный отдел (10,3 и 9,5% соответственно). Остальные отделы включают маркетинговый, отдел информационных систем управления, отдел исследований и разработок, общий отдел, отдел планирования и другие.

Таблица 5.

Структура респондентов по департаментам

Департаменты	Частота	Процент
Учет и финансы	72	57,1
Управление персоналом и обучение	13	10,3
Производство	12	9,5
Маркетинг	7	5,6
Прочие	7	5,6
Информационные системы управления	5	4,0
Исследования и разработки	4	3,2
Общие вопросы	3	2,4
Планирование	3	2,4
Всего	126	100,0

4.2. Анализ внутренней согласованности

В настоящем исследовании проверялись основные предположения касательно переменных – ИТ-поддержки, организации обучения, централизации, Т-образных компетенций, процессов управления знаниями, финансовой и клиентской эффективности. Также важно проверить согласованность данных, полученных в результате опроса. Для анализа внутренней согласованности использован альфа-тест Кронбаха (таблица 6).

Таблица 6.

Анализ внутренней согласованности

Переменные	Количество элементов	Альфа Кронбаха	
Процессы управления знаниями	8	0,921	
Возможности управления знаниями	ИТ-поддержка	5	0,901
	Обучение	5	0,926
	Централизация	5	0,897
	Т-образные компетенции	4	0,851
Эффективность управления знаниями	Финансовая эффективность	4	0,931
	Клиентская эффективность	3	0,891

Согласно таблице 6, величина альфа Кронбаха для каждого из параметров выше необходимого порога 0,6. Таким образом, внутренняя согласованность соблюдается.

4.3. Оценка валидности

Для оценки валидности предположений данного исследования были оценены валидность конструкторов, валидность содержания и валидность критериев.

4.3.1. Валидность содержания

С использованием анализа валидности данного типа мы исследуем то, в какой степени определенная содержательная область отражается ее оценками. Как показало исследование, степень соответствия между наблюдаемыми показателями и концептуальными определениями (финансовая эффективность, клиентская эффективность, процесс управления знаниями, ИТ-поддержка, обучение, централизация и Т-образные компетенции) высока. Валидность содержания подтверждается анализом имеющихся практик управления знаниями.

4.3.2. Валидность конструкторов

При этом типе оценки валидности определяется соответствие между конкретной процедурой оценки (или средством измерения) и теоретической концепцией. Значение валидности конструкторов в теоретических исследованиях очень высоко. Для определения валидности конструкторов исследование

должно содержать три этапа. На первом этапе следует определить теоретические связи, на втором – оценить эмпирические связи между оцениваемыми величинами. Наконец, необходимо интерпретировать эмпирические данные, чтобы обосновать валидность конструкторов. Валидность конструкторов в настоящем исследовании определялась при помощи сравнительного факторного анализа.

Как отмечалось выше, параметры модели исследования, относящиеся к разным конструкторам, были выбраны на основании предшествующей исследовательской модели и теоретических данных. Сравнительный факторный анализ для конструкторов, определяемых на основе теоретического подхода, предоставляет необходимые возможности для оценки согласованности структурного уравнения модели и эффективности оценки. Следовательно, можно ожидать, что факторы, связанные с разработанными шкалами, будут однозначно оценены, а система взаимосвязей будет представлена как система факторов. Так обеспечивается эффективность оценок, а возможность возникновения ошибок при моделировании структурных уравнений сводится к минимуму.

Для изучения силы взаимосвязей между конструкторами и связанными параметрами в исследовании используются три вида оценочных моделей. Первая модель анализирует систему взаимоотношений между параметрами, оценивающими потенциал управления знаниями – ИТ-поддержкой, обучением, централизацией и Т-образными компетенциями (таблица 7). Процессы управления знаниями и система взаимосвязей между ними анализируются при помощи второй модели (таблица 8). Эффективность управления знаниями (финансовая и клиентская эффективность) анализируются при помощи третьей модели (таблица 9). При анализе были использованы следующие статистические метрики:

- ◆ хи-квадрат (chi-square);
- ◆ *p*-значение (*p*-value);
- ◆ среднеквадратические остатки (root mean square residual, RMR);
- ◆ сравнительный показатель соответствия (confirmatory fit index CFI);
- ◆ ненормированный показатель соответствия (non-normed fit index, NNFI);
- ◆ нормированный показатель соответствия (normed fit index, NFI);
- ◆ скорректированный показатель качества соответствия (adjusted goodness of fit index, AGF);
- ◆ показатель качества соответствия (goodness of fit index, GF).

Таблица 7.

Модель оценки возможностей управления знаниями

	ИТ-поддержка	Культура обучения	Централизация	Т-образные компетенции
Хи-квадрат	18,91	29,11	25,09	14,119
<i>P</i>-значение	0,002	0,000	0,000	0,010
RMR	0,029	0,049	0,029	0,033
CFI	0,913	0,982	0,970	0,969
NNFI	0,982	0,972	0,897	0,952
NFI	0,982	0,945	0,971	0,966
AGF	0,948	0,838	0,901	0,913
GF	0,955	0,898	0,972	0,928

Согласно таблице 7, величины хи-квадрат для четырех конструкторов возможностей управления знаниями являются значительными при *p*-значениях, меньших порогового значения 0,05, что означает хорошее соответствие модели. Значения ненормированного показателя соответствия (NNFI), нормированного показателя соответствия (NFI), скорректированного показателя качества соответствия (AGF) и показателя качества соответствия (GF) очень высокие, что также свидетельствует о качестве модели. Это показывает, что значительная часть вариативности отражена шкалами элементов возможностей управления знаниями.

Таблица 8.

Модель оценки процессов управления знаниями

	Процессы управления знаниями
Хи-квадрат	112,29
<i>P</i>-значение	0,000
RMR	0,061
CFI	0,911
NNFI	0,812
NFI	0,902
AGF	0,851
GF	0,882

Как показывает таблица 8, величина хи-квадрат довольно высока (112,29), а *p*-значение не превышает пороговый уровень 0,05. Значения ненормированного показателя соответствия (NNFI), нормированного показателя соответствия (NFI), скорректированного показателя качества соответствия (AGF) и показателя качества соответствия (GF) высоки, что подтверждает соответствие модели.

Таблица 9.

**Модель оценки
эффективности управления знаниями**

	Финансовая эффективность	Клиентская эффективность
Хи-квадрат	7,912	4,123
P-значение	0,019	0,036
RMR	0,021	0,029
CFI	0,962	0,945
NNFI	0,971	0,967
NFI	0,989	0,978
AGF	0,912	0,901
GF	0,978	0,992

В таблице 9 представлена третья модель, связанная с двумя оценками эффективности управления знаниями. Величины хи-квадрат двух переменных являются значимыми (при уровне значимости 0,05). Значения метрик NNFI, NFI, AGF и GF высоки, что подтверждает соответствие модели. Таким образом, в данном разделе валидность конструкторов была проверена с использованием конфирматорного факторного анализа.

4.3.3. Валидность критериев

Оценка валидности позволяет определить, в какой степени эффективность в будущем предсказывается текущими оценками эффективности (предиктивные возможности). Например, в какой степени эффективность управления знаниями оценивается показателями процессов управления знаниями.

Для этого в ходе исследования проведен корреляционный анализ на основе оценок возможностей управления знаниями (ИТ-поддержки, обучения, централизации, Т-образных компетенций), процессов управления знаниями, а также финансовой и клиентской эффективности (таблица 10). Цель анализа – оценка репрезентативности конструкторов и снижение оценочных ошибок.

4.4. Факторный анализ

Факторный анализ проведен с использованием метода главных компонент для семи переменных (ИТ-поддержка, обучение, централизация, Т-образные компетенции, процессы управления знаниями, финансовая эффективность и клиентская эффективность). Анализ был проведен с целью уменьшить количество параметров и обобщить их.

Результаты факторного анализа представлены в таблице 11. Величина КМО равна 0,771 и характеризует адекватность выборки. Поскольку эта величина больше минимального порогового значения 0,6, выборка для метода главных компонент считается адекватной. Тест Бартлетта показывает значение меньше 0,05, что означает применимость факторного анализа.

В таблице 12 представлена матрица повернутых компонент, которая получена при помощи метода главных компонент. Отдельные коррелированные параметры, связанные с семью переменными, помещены в отдельные компоненты на основе выборки. Параметры, связанные с процессами управления знаниями, возможностями управления знаниями и эффективностью, обобщены и сгруппированы в семь компонент.

Таблица 10.

Матрица коэффициентов корреляции со средними и стандартными отклонениями

Переменные	Среднее	Стандартное отклонение	Т-образные компетенции	Централизация	Обучение	ИТ-поддержка	Процессы управления знаниями	Клиентская эффективность	Финансовая эффективность
Т-образные компетенции	0,32	0,42	1,000	0,254	0,306	0,236	0,289	0,181	0,082
Централизация	0,63	0,87	0,254	1,000	0,409	0,184	0,451	0,077	0,057
Обучение	0,12	0,58	0,306	0,409	1,000	0,344	0,701	0,125	0,037
ИТ-поддержка	0,24	0,46	0,236	0,184	0,344	1,000	0,598	0,056	0,282
Процессы управления знаниями	0,07	0,48	0,289	0,451	0,701	0,598	1,000	0,137	0,106
Клиентская эффективность	0,12	0,55	0,181	0,077	0,125	0,056	0,137	1,000	0,258
Финансовая эффективность	0,00	0,73	0,082	0,057	0,037	0,282	0,106	0,258	1,000

Таблица 11.

Тесты КМО и Бартлетта

КМО		0,771
Тест сферичности Бартлетта	Хи-квадрат	7353,154
	df	561
	Sig.	0,000

Таблица 12.

Матрица повернутых компонент

	Компоненты						
	1	2	3	4	5	6	7
P1	0,982	0,056	-0,033	-0,064	0,047	-0,079	0,014
P2	0,953	0,020	-0,021	-0,083	0,023	-0,057	0,016
P3	0,961	0,053	-0,030	-0,103	0,056	-0,037	-0,009
P4	0,923	0,008	-0,001	-0,062	0,072	0,009	0,042
P5	0,952	0,073	-0,023	-0,084	0,039	-0,073	-0,020
P6	0,952	0,103	-0,042	-0,046	-0,019	-0,018	0,021
P7	0,949	0,120	-0,040	-0,066	-0,005	-0,049	0,015
P8	0,883	0,001	-0,056	-0,045	0,028	-0,089	0,161
C1	0,071	0,977	0,113	-0,082	0,018	-0,034	0,075
C2	0,079	0,966	0,104	-0,082	0,013	-0,011	0,085
C3	0,088	0,947	0,110	-0,114	0,048	-0,074	0,046
C4	0,010	0,955	0,089	-0,113	-0,027	-0,051	0,033
C5	0,075	0,968	0,112	-0,089	0,024	-0,037	0,057
L1	-0,015	0,107	0,968	-0,021	-0,011	0,121	-0,001
L2	-0,015	0,113	0,971	-0,047	-0,014	0,109	-0,002
L3	-0,015	0,098	0,965	-0,021	0,005	0,121	0,004
L4	-0,072	0,119	0,932	-0,048	-0,043	0,064	-0,014
L5	-0,055	0,078	0,948	-0,084	-0,049	0,072	0,022
T1	-0,115	-0,110	-0,042	0,974	-0,012	-0,035	-0,043
T2	-0,112	-0,089	-0,046	0,961	0,006	-0,034	-0,068
T3	-0,097	-0,122	-0,057	0,955	0,002	0,028	-0,021
T4	-0,095	-0,125	-0,065	0,956	-0,035	-0,031	0,012
S1	0,325	-0,134	0,121	0,069	0,635	-0,047	0,036
S2	0,046	0,001	-0,033	-0,038	0,955	0,065	0,047
S3	0,031	0,033	-0,023	-0,022	0,950	0,018	0,011
S4	0,036	0,024	-0,065	0,001	0,883	0,077	0,040
S5	0,018	0,070	-0,038	-0,015	0,944	0,006	0,017
FP1	-0,083	-0,021	0,106	0,051	0,055	0,919	-0,102
FP2	-0,117	-0,134	0,089	-0,070	0,034	0,895	-0,068
FP3	-0,099	-0,028	0,101	-0,034	-0,002	0,951	-0,062
FP4	-0,014	-0,009	0,152	-0,017	0,060	0,893	-0,119
CP1	0,092	0,129	0,033	-0,045	0,069	-0,136	0,940
CP2	0,050	0,113	-0,003	-0,024	0,022	-0,131	0,917
CP3	0,033	0,014	-0,016	-0,038	0,037	-0,064	0,887

4.5. Модель структурного уравнения

При разработке модели исследования было сделано предположение, что возможности управления знаниями влияют на процессы, которые, в свою очередь, могут оказывать влияние на эффективность управления знаниями. Как было показано в предыдущих разделах, возможности информационных технологий, структура, культура и персонал предопределяют и влияют на процессы управления знаниями, в то время как различные процессы управления знаниями оказывают влияние на финансовую и клиентскую эффективность.

Как показывает таблица 13, величина хи-квадрат для модели очень высока и равна 890,12. Значения ненормированного показателя соответствия (NNFI), нормированного показателя соответствия (NFI), скорректированного показателя качества соответствия (AGF) и показателя качества соответствия (GF) также достигают рекомендованных значений.

Таблица 13.

Оценка качества модели

Хи-квадрат = 890,12
P-значение = 0,000
RMR = 0,066
CFI = 0,912
NNFI = 0,891
NFI = 0,854
AGF = 0,789
GF = 0,801

Оценки путей коэффициентов для модели подтверждают теоретические положения по значимости и направлению (таблица 14). Это означает, что возможности управления знаниями (ИТ-поддержка, обучение, децентрализация и персонал организации) вносят вклад в успех процессов управления знаниями. В свою очередь, успешные процессы управления знаниями повышают эффективность МСП в Саудовской Аравии.

Важно отметить, что теоретические положения, представленные в предыдущих разделах, подтверждены математическими выкладками. Хотя величины хи-квадрат, полученные при моделировании, являются средними по величине, показатели качества должны соответствовать сложности модели.

Успешный анализ данных и соответствие его результатов теории показывают, что предложенная модель обеспечивает достоверный взгляд на процессы и возможности управления знаниями, а также организационную эффективность предприятий Саудовской Аравии.

Таблица 14.

Результаты тестирования гипотез

Гипотезы и связи	t-значения	Путевые коэффициенты
Т-образные компетенции и процессы управления знаниями	4,712	0,355
Централизация и процессы управления знаниями	-3,799	-0,208
ИТ-поддержка и процессы управления знаниями	4,839	0,368
Обучение и процессы управления знаниями	5,015	0,349
Процессы управления знаниями и финансовая эффективность	9,320	0,745
Процессы управления знаниями и клиентская эффективность	4,991	0,469
Финансовая и клиентская эффективность	3,201	0,291

Заключение

Цель настоящего исследования заключалась в изучении влияния процессов и возможностей управления знаниями на эффективность МСП в Саудовской Аравии. Для этого была рассмотрена литература по данному вопросу и предложен количественный исследовательский подход. В исследовании основное внимание было уделено анализу и обсуждению возможностей управления

знаниями, чтобы оценить их влияние на процессы управления знаниями, которые, в свою очередь, влияют на повышение конкурентоспособности организации.

В ходе исследования был проведен опрос 126 респондентов, работающих в различных отраслях. С помощью нескольких статистических тестов было показано, что возможности управления знаниями (ИТ-поддержка, обучение, децентрализованная структура и персонал организации) вносит вклад в успех процессов управления знаниями, что подтверждает теоретическую модель. Результаты также показали, что процессы управления знаниями, включая доступ, создание, оценку, трансфер, использование, внедрение, представление и стимулирование, положительно связаны с эффективностью МСП в Саудовской Аравии.

В результате исследования получены аргументированные доказательства влияния и связи процессов и возможностей управления знаниями с эффективностью организаций (МСП). Однако есть несколько ограничений, например, то, что исследование не позволяет учесть эффекты запаздывания. Желательно, чтобы в будущем было проведено расширенное исследование данного аспекта. Также следует отметить, что исследование сфокусировано на малых и средних предприятиях Саудовской Аравии, что не позволяет обобщить полученные результаты на другие регионы. ■

Литература

- Davenport T.H. (1994) Saving IT's soul: Human-centered information management. *Harvard Business Review*, vol. 72, no. 2, pp. 119–131.
- Duhon B. (1998) It's all in our heads. *Inform*, vol. 12, no. 8, pp. 8–13.
- Gold A.H., Malhotra A., Segars A.H. (2001). Knowledge management: An organizational capabilities perspective. *Journal of Management Information Systems*, vol. 18, no. 1, pp. 185–214.
- Lee H., Choi B. (2003) Knowledge management enablers, processes, and organizational performance: An integrative view and empirical examination. *Journal of Management Information Systems*, vol. 20, no. 1, pp. 179–228.
- Ho C.T. (2009) The relationship between knowledge management enablers and performance. *Industrial Management & Data Systems*, vol. 109, no. 1, pp. 98–117.
- Mills A.M., Smith T.A. (2011) Knowledge management and organizational performance: a decomposed view. *Journal of Knowledge Management*, vol. 15, no. 1, pp. 156–171.
- Lee Y.C., Lee S.K. (2007) Capabilities, processes, and performance of knowledge management: A structural approach. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, vol. 17, no. 1, pp. 21–41.
- Quinn J.B. (1999) Strategic outsourcing: leveraging knowledge capabilities. *Sloan Management Review*, vol. 40, no. 4, pp. 9–21.
- Zack M., McKeen J., Singh S. (2009) Knowledge management and organizational performance: An exploratory analysis. *Journal of Knowledge Management*, vol. 13, no. 6, pp. 392–409.
- Bhatt G.D. (2001) Knowledge management in organizations: examining the interaction between technologies, techniques, and people. *Journal of Knowledge Management*, vol. 5, no. 1, pp. 68–75.
- Gray P.H. (2001) A problem-solving perspective on knowledge management practices. *Decision Support Systems*, vol. 31, no. 1, pp. 87–102.
- Krogh G., Nonaka I., Aben M. (2001) Making the most of your company's knowledge: A strategic framework. *Long Range Planning*, vol. 34, no. 4, pp. 421–439.
- Lee C., Yang J. (2000) Knowledge value chain. *Journal of Management Development*, vol. 19, no. 9, pp. 783–794.
- Sabherwal R., Becerra Fernandez I. (2003) An empirical study of the effect of knowledge management processes at individual, group, and organizational levels. *Decision Sciences*, vol. 34, no. 2, pp. 225–260.
- Rollett H. (2012) Knowledge management: Processes and technologies. Springer Science+Business Media.

16. Teece D.J. (2015) Intangible assets and a theory of heterogeneous firms. *Intangibles, market failure and innovation performance*. Springer International Publishing, pp. 217–239.
17. Skyrme D.J., Amidon D.M. (1998) New measures of success. *Journal of Business Strategy*, vol. 19, no. 1, pp. 20–24.
18. Dalkir K. (2013) *Knowledge management in theory and practice*. Routledge.
19. Hislop D. (2013) *Knowledge management in organizations: A critical introduction*. Oxford University Press.
20. Alavi M., Leidner D.E. (2001) Review: Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues. *MIS Quarterly*, vol. 25, no. 1, pp. 107–136.
21. Nonaka I, Takeuchi H. (1995) *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. New York: Oxford University Press.
22. Ruggles R. (1998) The state of the notion. *California Management Review*, vol. 40, no. 3, pp. 80–89.
23. Arora R. (2002) Implementing KM – a balanced score card approach. *Journal of Knowledge Management*, vol. 6, no. 3, pp. 240–249.
24. Kaplan R.S., Norton D.P. (2000) Having trouble with your strategy? Then map it. *Harvard Business Review*, vol. 78, no. 5, pp. 167–176.
25. Gooijer J. (2000) Designing a knowledge management performance framework. *Journal of Knowledge Management*, vol. 4, no. 4, pp. 303–310.
26. Fugate B.S., Stank T.P., Mentzer J.T. (2009) Linking improved knowledge management to operational and organizational performance. *Journal of Operations Management*, vol. 27, no. 3, pp. 247–264.
27. Ho L.A. (2008) What affects organizational performance? The linking of learning and knowledge management. *Industrial Management & Data Systems*, vol. 108, no. 9, pp. 1234–1254.
28. Sveiby K.E. (1997) *The new organizational wealth: Managing and measuring knowledge assets*. San Francisco, CA: Berrett-Koehler.
29. Sher P.J., Lee V.C. (2004) Information technology as a facilitator for enhancing dynamic capabilities through knowledge management. *Information & Management*, vol. 41, no. 8, pp. 933–945.
30. Alawamleh H.S., Kloub M.A. (2013) Impact of organizational structure on knowledge management in the Jordanian insurance companies: From the perspective of the supervisory leadership. *International Journal of Business and Social Science*, vol. 4, no. 11, pp. 82–95.
31. Leonard-Barton D. (1998) *Wellsprings of knowledge: Building and sustaining the sources of innovation*. Boston: Harvard Business School Press.
32. Liao C., Chuang S.H., To P.L. (2011) How knowledge management mediates the relationship between environment and organizational structure. *Journal of Business Research*, vol. 64, no. 7, pp. 728–736.
33. Bordens K. (2006) *Research Design & Methods*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.

The impact of knowledge management capabilities and processes on SME performance

Naief G. Azyabi

Assistant Professor

*Department of Management Information Systems, College of Business Administration
Jazan University*

Address: Jazan, 45142, Saudi Arabia

E-mail: ngazyabi@jcba.edu.sa

Abstract

Knowledge management (KM) is a practice where knowledge is captured, distributed and utilized effectively, leading to enhanced productivity and performance of an organization. The prime objective of this study is to examine the influence of KM processes and capabilities on the performance of small and medium-sized enterprises (SMEs) in Saudi Arabia. KM capabilities comprise people, IT, the organizational structure and the organizational culture, which are measured in this research by T-shaped skills, IT support, the level of centralization, and learning. The other dimension is KM processes, which consist of accessing, generating, embedding, representing, facilitating, using, measuring and transferring knowledge. Moreover, KM performance is measured via two factors: the organization's financial performance and customer satisfaction.

The research reviews previous literature related to the KM components (processes, capabilities and performance) to develop the research model and a number of hypotheses to evaluate the research problem. The data is collected through a questionnaire-based survey completed by a total of 126 managers working in different sectors of Saudi SMEs. With the help of a number of statistical tests, the research study found that the KM capabilities, IT support, learning culture, decentralized structure and the people of the organization contribute to the success of KM practices or processes, validating the theoretical model. The results also show that KM processes, including accessing, generating, measuring, transferring, use, embedding, representing and facilitating, are positively associated with the performance of SMEs in Saudi Arabia.

Key words: knowledge management; IT support, Saudi Arabia; organizational culture; learning, performance.

Citation: Azyabi N.G. (2018) The impact of knowledge management capabilities and processes on SME performance. *Business Informatics*, no. 3 (45), pp. 39–52. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.3.39.52.

References

1. Davenport T.H. (1994) Saving IT's soul: Human-centered information management. *Harvard Business Review*, vol. 72, no. 2, pp. 119–131.
2. Duhon B. (1998) It's all in our heads. *Inform*, vol. 12, no. 8, pp. 8–13.
3. Gold A.H., Malhotra A., Segars A.H. (2001). Knowledge management: An organizational capabilities perspective. *Journal of Management Information Systems*, vol. 18, no. 1, pp. 185–214.
4. Lee H., Choi B. (2003) Knowledge management enablers, processes, and organizational performance: An integrative view and empirical examination. *Journal of Management Information Systems*, vol. 20, no. 1, pp. 179–228.
5. Ho C.T. (2009) The relationship between knowledge management enablers and performance. *Industrial Management & Data Systems*, vol. 109, no. 1, pp. 98–117.
6. Mills A.M., Smith T.A. (2011) Knowledge management and organizational performance: a decomposed view. *Journal of Knowledge Management*, vol. 15, no. 1, pp. 156–171.
7. Lee Y.C., Lee S.K. (2007) Capabilities, processes, and performance of knowledge management: A structural approach. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, vol. 17, no. 1, pp. 21–41.
8. Quinn J.B. (1999) Strategic outsourcing: leveraging knowledge capabilities. *Sloan Management Review*, vol. 40, no. 4, pp. 9–21.
9. Zack M., McKeen J., Singh S. (2009) Knowledge management and organizational performance: An exploratory analysis. *Journal of Knowledge Management*, vol. 13, no. 6, pp. 392–409.
10. Bhatt G.D. (2001) Knowledge management in organizations: examining the interaction between technologies, techniques, and people. *Journal of Knowledge Management*, vol. 5, no. 1, pp. 68–75.
11. Gray P.H. (2001) A problem-solving perspective on knowledge management practices. *Decision Support Systems*, vol. 31, no. 1, pp. 87–102.
12. Krogh G., Nonaka I., Aben M. (2001) Making the most of your company's knowledge: A strategic framework. *Long Range Planning*, vol. 34, no. 4, pp. 421–439.
13. Lee C., Yang J. (2000) Knowledge value chain. *Journal of Management Development*, vol. 19, no. 9, pp. 783–794.
14. Sabherwal R., Becerra-Fernandez I. (2003) An empirical study of the effect of knowledge management processes at individual, group, and organizational levels. *Decision Sciences*, vol. 34, no. 2, pp. 225–260.
15. Rollett H. (2012) *Knowledge management: Processes and technologies*. Springer Science+Business Media.
16. Teece D.J. (2015) Intangible assets and a theory of heterogeneous firms. *Intangibles, market failure and innovation performance*. Springer International Publishing, pp. 217–239.
17. Skyrme D.J., Amidon D.M. (1998) New measures of success. *Journal of Business Strategy*, vol. 19, no. 1, pp. 20–24.
18. Dalkir K. (2013) *Knowledge management in theory and practice*. Routledge.
19. Hislop D. (2013) *Knowledge management in organizations: A critical introduction*. Oxford University Press.
20. Alavi M., Leidner D.E. (2001) Review: Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues. *MIS Quarterly*, vol. 25, no. 1, pp. 107–136.
21. Nonaka I, Takeuchi H. (1995) *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. New York: Oxford University Press.
22. Ruggles R. (1998) The state of the notion. *California Management Review*, vol. 40, no. 3, pp. 80–89.
23. Arora R. (2002) Implementing KM – a balanced score card approach. *Journal of Knowledge Management*, vol. 6, no. 3, pp. 240–249.
24. Kaplan R.S., Norton D.P. (2000) Having trouble with your strategy? Then map it. *Harvard Business Review*, vol. 78, no. 5, pp. 167–176.
25. Gooijer J. (2000) Designing a knowledge management performance framework. *Journal of Knowledge Management*, vol. 4, no. 4, pp. 303–310.
26. Fugate B.S., Stank T.P., Mentzer J.T. (2009) Linking improved knowledge management to operational and organizational performance. *Journal of Operations Management*, vol. 27, no. 3, pp. 247–264.
27. Ho L.A. (2008) What affects organizational performance? The linking of learning and knowledge management. *Industrial Management & Data Systems*, vol. 108, no. 9, pp. 1234–1254.
28. Sveiby K.E. (1997) *The new organizational wealth: Managing and measuring knowledge assets*. San Francisco, CA: Berrett-Koehler.
29. Sher P.J., Lee V.C. (2004) Information technology as a facilitator for enhancing dynamic capabilities through knowledge management. *Information & Management*, vol. 41, no. 8, pp. 933–945.
30. Alawamleh H.S., Kloub M.A. (2013) Impact of organizational structure on knowledge management in the Jordanian insurance companies: From the perspective of the supervisory leadership. *International Journal of Business and Social Science*, vol. 4, no. 11, pp. 82–95.
31. Leonard-Barton D. (1998) *Wellsprings of knowledge: Building and sustaining the sources of innovation*. Boston: Harvard Business School Press.
32. Liao C., Chuang S.H., To P.L. (2011) How knowledge management mediates the relationship between environment and organizational structure. *Journal of Business Research*, vol. 64, no. 7, pp. 728–736.
33. Bordens K. (2006) *Research Design & Methods*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.

Определение скидки на торг по рыночным данным и кадастровой стоимости

М.Б. Ласкин

кандидат физико-математических наук

старший научный сотрудник

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук;

доцент экономического факультета

Санкт-Петербургский государственный университет

Адрес: 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9

E-mail: laskinmb@yahoo.com

Аннотация

Введение института кадастровой стоимости в Российской Федерации открывает новые возможности в оценке недвижимого имущества. В этой связи на первый план выходят задачи статистического анализа многомерных эмпирических распределений, не доступных ранее потому, что на рынке недвижимости отсутствуют парные и многомерные наблюдения, сосредоточенные в единых базах данных. Интересующие аналитиков данные, как правило, находятся в разных источниках у разных владельцев и относятся к разным объектам. Задачу их объединения можно решить, сопоставляя такие данные с данными кадастрового учета, а именно с кадастровым номером как с уникальным идентификатором объекта. Поскольку каждому кадастровому номеру соответствует кадастровая стоимость, появляется возможность сопоставить кадастровую стоимость с такими важными показателями как рыночная цена предложения, цена сделки, ставка аренды, индексы годового изменения цен, коэффициент капитализации, ставка дисконтирования, скидка на торг и многими другими показателями, в формировании которых участвует более двух случайных величин. Рассматривается модель цен, образованных парными сравнениями. В этом случае цены следуют геометрическому броуновскому движению, что приводит к формированию логарифмически нормальной генеральной совокупности. Как оказалось, в результате масштабных работ по кадастровому учету, проведенных в Российской Федерации в 2014 году, кадастровая стоимость также подчиняется логарифмически нормальному распределению цен (в каждом классе объектов). Для рыночной стоимости (как наиболее вероятной цены сделки в условиях совершенной конкуренции) это приводит к функциональным зависимостям от кадастровой стоимости степенного вида. Аналогично, многие другие показатели также будут подчиняться зависимостям в виде степенных функций. Очевидно, что, имея функции зависимости различных показателей от кадастровой стоимости по всему множеству ее значений, можно выявить связь между различными показателями, которую до введения института кадастровой стоимости установить было невозможно. В настоящей статье предложен метод расчета скидки на торг при оценке недвижимого имущества, основанный на анализе рыночной статистики и данных баз кадастрового учета. Выводится аналитическая формула зависимости скидки на торг от цены предложения. Метод позволяет установить размер скидки на торг не только для объектов, входивших в рекламные базы данных, но и для любого объекта, прошедшего кадастровый учет.

Ключевые слова: скидка на торг; кадастровая стоимость; рыночная стоимость; стохастическая модель ценообразования; логарифмически нормальный закон распределения цен.

Цитирование: Ласкин М.Б. Определение скидки на торг по рыночным данным и кадастровой стоимости // Бизнес-информатика. 2018. № 3 (45). С. 53–61.
DOI: 10.17323/1998-0663.2018.3.53.61.

Введение

В теории и практике оценки недвижимого имущества одним из нерешенных вопросов является определение скидки на торг. Российский рынок недвижимости устроен таким образом, что на нем широко представлены предложения о продажах и крайне ограничен (для оценщика) доступ к информации по завершенным сделкам с реальной ценой продажи. Из-за этого представляется весьма затруднительным поиск статистики, отражающей цену предложения и цену сделки для одного и того же объекта недвижимости. В практике оценщики часто пользуются «экспертными» опросами и усреднением полученных данных. На растущих рынках допущенные при этом ошибки быстро нивелируются динамичными изменениями цен. В современных условиях такой подход часто не отражает реальной картины.

С введением института кадастровой стоимости появилась возможность установить аналитические зависимости между ценой предложения и ценой сделки, а, следовательно, и скидки на торг.

1. Модель

Модель построена при допущении, что цены предложений и цены сделок распределены логарифмически нормально. Кадастровые стоимости, определенные в 2014 году как рыночные, тоже распределены логарифмически нормально. На такой вид распределения цен в недвижимости указывали не только исследователи Кембриджского университета Айчинсон и Браун еще в 1963 году [1], но и авторы относительно недавних публикаций [2–4]. О.В. Русаковым [5; 6] было доказано, что цены, образованные последовательными сравнениями в условиях совершенной конкуренции, стремятся к формированию логарифмически нормально распределенной генеральной совокупности. Под рыночной стоимостью понимается наиболее вероятная цена, по которой объект может быть отчужден на открытом рынке в условиях совершенной конкуренции. Такое понимание полностью соответствует определению рыночной стоимости, данной в ФЗ-135 «Об оценочной деятельности» [7] и зарубежным стандартам [8–11]. Для одномерных случайных величин это приводит к пониманию рыночной стоимости как модального значения соответствующей случайной величины, а в случае двумерных или многомерных случайных величин – к изучению наиболее вероятных значений многомерных случайных величин, например, при изучении корректировок [12],

анализе результатов аукционных торгов [13], определении коэффициента капитализации, соответствующего текущему состоянию рынка [14] и в других задачах, в которых возникает необходимость рассматривать системы случайных величин.

Так как собрать статистику, содержащую цены предложений и цены сделок для каждого объекта затруднительно, можно собрать статистику по парам «кадастровая стоимость – цена предложения», «кадастровая стоимость – цена сделки», вывести аналитические зависимости, а затем вывести зависимость цены сделки от цены предложения.

Например, если предположить, что случайные величины V_{kc} и V_{un} (V_{kc} – кадастровая стоимость, V_{un} – цена предложения) распределены совместно логарифмически нормально, то при фиксированной кадастровой стоимости $V_{kc} = v$ наиболее вероятная цена MV_{un} (рыночная стоимость, оцененная по ценам предложений, без учета скидки на торг), равна:

$$MV_{un} = \text{Mode}(V_{un} | V_{kc} = v) = \exp(\mu_1 + \rho_1 \frac{\sigma_1}{\sigma_2} (\ln(v) - \mu_2) - \sigma_1^2 (1 - \rho_1^2)), \quad (1)$$

где μ_1, σ_1 – параметры логарифмически нормального распределения для кадастровой стоимости;

μ_2, σ_2 – параметры логарифмически нормального распределения для цен предложений;

ρ_1 – коэффициент корреляции.

Несложный вывод этой формулы дан в работах [14; 15]. Заметим, что формула (1) описывает зависимость рыночной стоимости без учета скидки на торг, от кадастровой в виде степенной функции:

$$MV_{un} = \text{Mode}(V_{un} | V_{kc} = v) = A_1 v^{B_1}, \quad (2)$$

где $A_1 = \exp(\mu_1 - \rho_1 \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \mu_2 - \sigma_1^2 (1 - \rho_1^2))$; $B_1 = \rho_1 \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$.

Аналогичная формула может быть записана и для оценки рыночной стоимости по ценам сделок (MV_{cd}):

$$MV_{cd} = \text{Mode}(V_{un} | V_{kc} = v) = A_2 v^{B_2}, \quad (3)$$

где $A_2 = \exp(\mu_1 - \rho_2 \frac{\sigma_1}{\sigma_3} \mu_3 - \sigma_1^2 (1 - \rho_2^2))$; $B_2 = \rho_2 \frac{\sigma_1}{\sigma_3}$.

(здесь μ_3, σ_3 – параметры логарифмически нормального распределения цен сделок, ρ_2 – коэффициент корреляции пары «кадастровая стоимость – цена сделки»).

Тогда, выражая v через MV_{un} (из формулы (2)) и подставляя в формулу (3), получаем зависимость

цены наиболее вероятной цены сделки MV_{cd} от наиболее вероятной цены предложения MV_{un} :

$$MV_{cd} = A_2 \left(\frac{MV_{un}}{A_1} \right)^{\frac{B_2}{B_1}}. \quad (4)$$

Очевидно, что эта зависимость тоже является степенной функцией.

Введем коэффициент K – отношение наиболее вероятной цены сделки к наиболее вероятной цене предложения. Из формулы (4) следует степенная зависимость коэффициента K от наиболее вероятной цены предложения:

$$K = A_2 A_1^{-\frac{B_2}{B_1}} (MV_{un})^{\frac{B_2}{B_1} - 1}. \quad (5)$$

Из формулы (5) видно, что скидка на торг не является константой и при определенных параметрах законов распределений цен предложений, цен сделок и кадастровых стоимостей может значительно меняться для разных цен предложений.

2. Расчетный пример

Для расчетов выбраны данные из Бюллетеня недвижимости № 1758 (декабрь 2016 года)¹, данные кадастрового учета объектов жилого фонда г. Санкт-Петербурга, опубликованные в [16], на основании отчета [17] и данные одного из Санкт-Петербургских агентств недвижимости, предоставившего на конфиденциальных условиях данные по ценам 294 реаль-

ных сделок в 2017 году. Предоставленная агентством информация относится только к необходимым численным показателям и не содержит никаких личных данных. Корректировка на время в течение 2017 года не проводилась, поскольку значительных изменений на рынке не было. К сожалению, базы данных рекламного характера, такие как «Бюллетень недвижимости», не содержат данных кадастрового учета (прежде всего, кадастрового номера, как уникального идентификатора объекта и его кадастровой стоимости). Оценочному сообществу стоит задуматься над возможностью создания баз данных, содержащих не только рыночную информацию и описание ценообразующих факторов, но и данные кадастрового учета, так как кадастровый номер является уникальным идентификатором любого объекта недвижимости. Если бы все базы содержали кадастровый номер (и данные кадастрового учета), то можно было бы объединять данные разных баз в одну и рассматривать многомерные случайные величины. Пока приходится применять другие методы для идентификации объектов. В частности, для данных, взятых из «Бюллетеня недвижимости», удалось идентифицировать (установить кадастровые номера и кадастровую стоимость) более 2300 объектов. На *рисунке 1* представлены диаграммы рассеяния пар «кадастровая стоимость – цена предложения», «кадастровая стоимость – цена сделки» для вторичной жилой недвижимости в г. Санкт-Петербурге в 2017 году, для сегмента «масс-маркет» (премиум-сегмент не рассматривался как сегмент, требующий отдельного изучения).

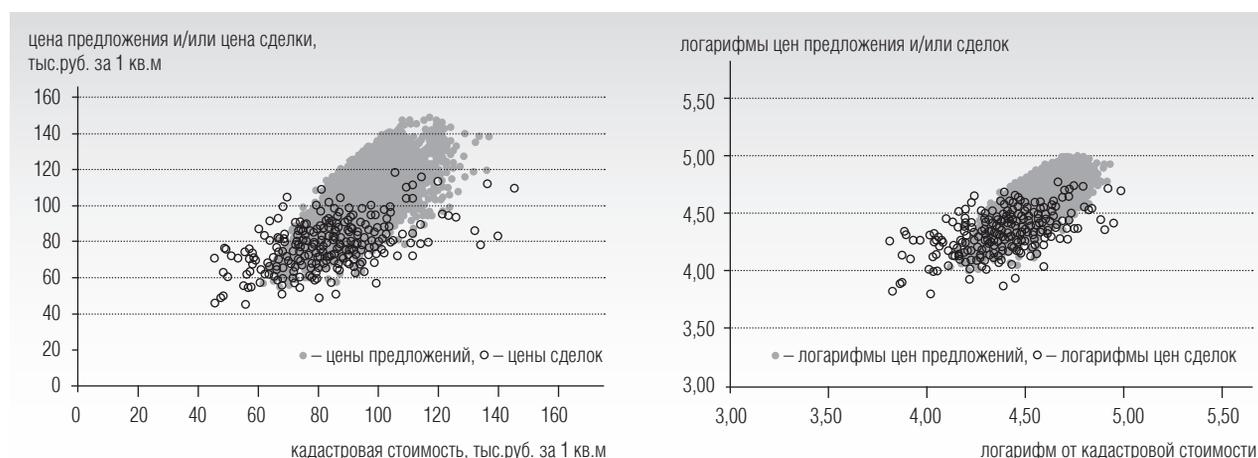


Рис. 1. Диаграммы рассеяния пар «кадастровая стоимость – цена предложения» и «кадастровая стоимость – цена сделки» для вторичной жилой недвижимости в г. Санкт-Петербурге в 2017 году, сегмент «масс-маркет», в натуральных ценах (слева) и в логарифмической плоскости (справа)

¹ Портал «Бюллетень недвижимости Санкт-Петербурга» (www.bn.ru) от 8 декабря 2016 года № 1758

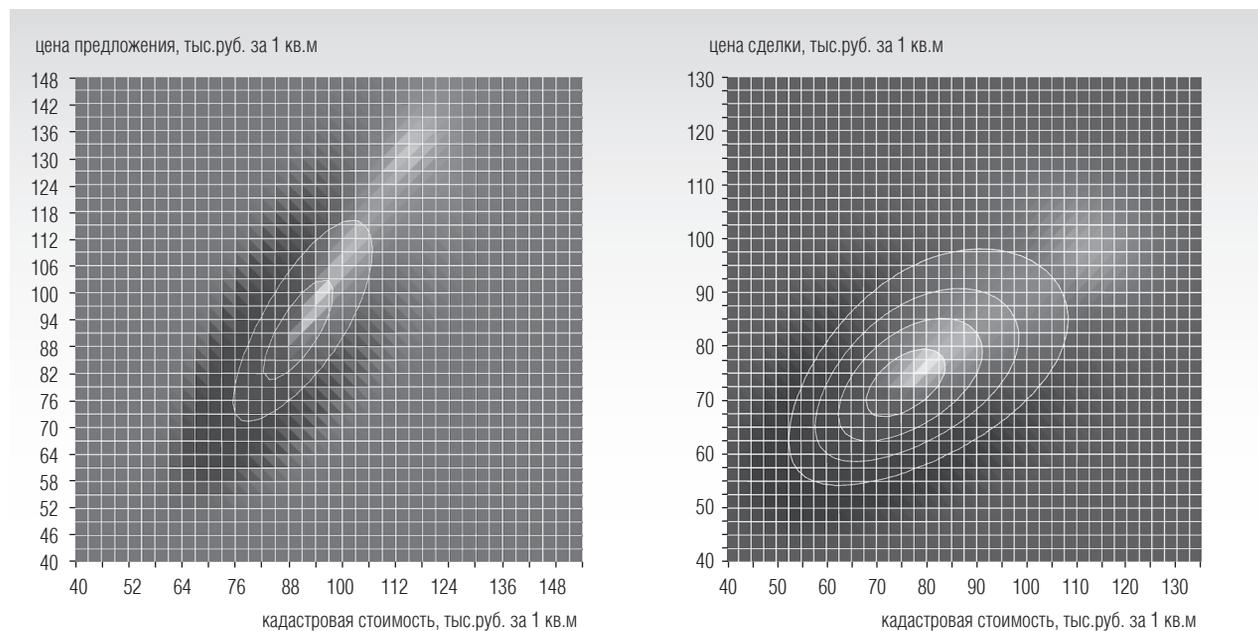


Рис. 2. Аппроксимирующие поверхности совместных логарифмически нормальных распределений пар «кадастровая стоимость – цена предложения» (слева) и «кадастровая стоимость – цена сделки» (справа)

Эмпирические распределения цен предложений далеко не всегда удается сразу удовлетворительно аппроксимировать логарифмически нормальным распределением. Это объясняется, прежде всего, тем, что рыночные данные представляют собой смесь распределений цен на объекты разного класса. Задача разделения смесей относится к классу некорректных задач и не решается только математическими методами. К счастью, в оценке недвижимости для разделения смесей всегда можно воспользоваться набором ценообразующих факторов, часть из которых отражается в рыночных базах данных. В данном случае удовлетворительное приближение получено после удаления из выборки объектов, относящихся к премиум-сегменту и удаления незначительного количества выбросов с аномально завышенными ожиданиями продавцов (оставшийся объем выборки – 2331 объект). Аппроксимирующие поверхности представлены на *рисунке 2*.

Аппроксимирующие поверхности проверены круговым КС-тестом [14; 15]. Результаты представлены на *рисунке 3*.

В тесте для пары «кадастровая стоимость – цена предложения» минимальное значение p -value составляет 0,055, для пары «кадастровая стоимость – цена сделки» p -value равна 0,33. Полученные значения дают основания не отвергать гипотезу о совместности логарифмически нормальном распределении.

При моделировании получены следующие выборочные значения параметров совместных логнормальных законов распределения. Для пары «кадастровая стоимость – цена предложения» $\mu_1 = 4,53, \sigma_1 = 0,126, \mu_2 = 4,56, \sigma_2 = 0,178, \rho_1 = 0,756$. Подставляя указанные значения в формулы (2) получаем:

$$\begin{aligned} A_1 &= 0,758 \\ B_1 &= 1,064 \\ MV_{ин} &= 0,758 v^{1,064}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для пары «кадастровая стоимость – цена сделки» $\mu_1 = 4,384, \sigma_1 = 0,207, \mu_3 = 4,337, \sigma_3 = 0,17, \rho_2 = 0,52$. Подставляя указанные значения в формулы (3) получаем:

$$\begin{aligned} A_1 &= 11,72 \\ B_2 &= 0,422 \\ MV_{ис} &= 11,72 v^{0,422}. \end{aligned} \quad (7)$$

Обе зависимости представлены на *рисунке 4*.

Полученные зависимости оценок рыночной стоимости получены по разным статистикам: по рыночным данным – на основе объявлений о продажах и по данным продаж агентства недвижимости. Эти зависимости построены на анализе данных из разных выборок, объекты из этих выборок разные и никак не связаны между собой, кроме кадастровых стоимостей.

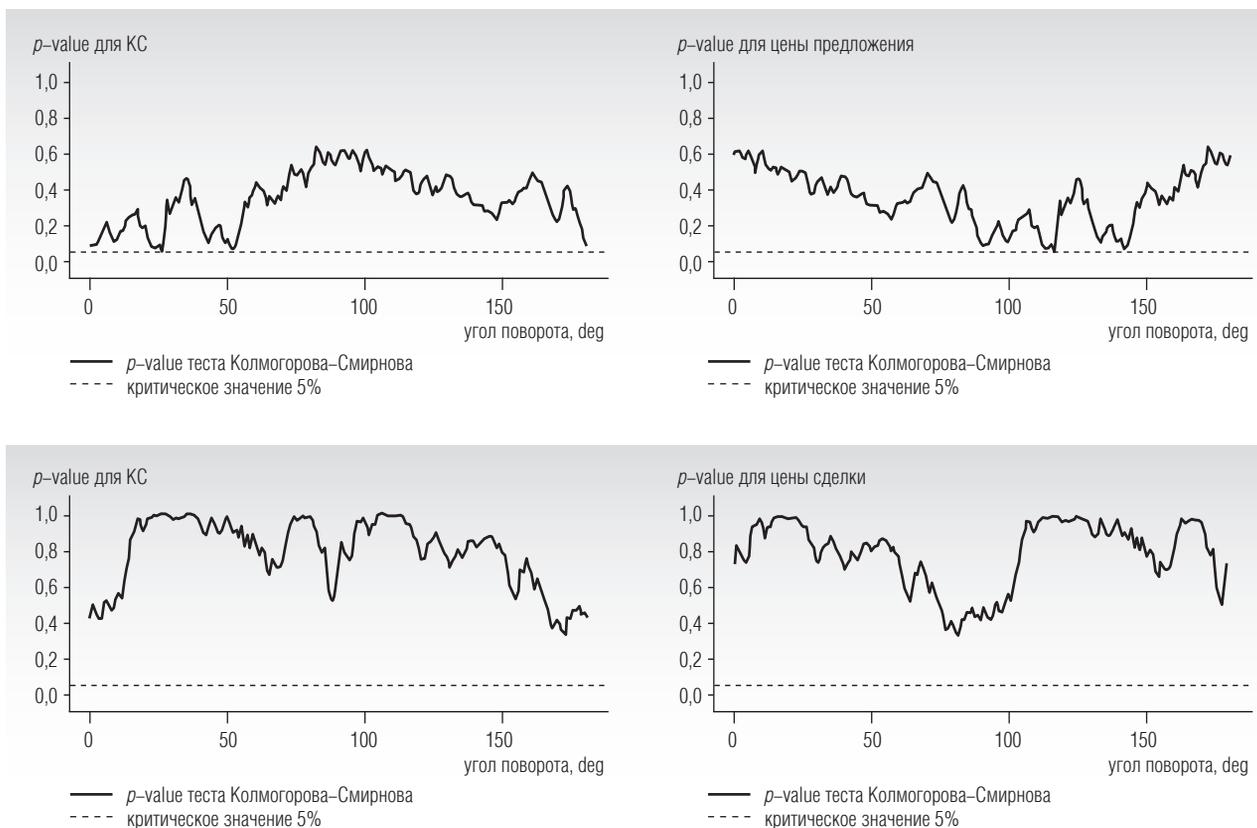


Рис. 3. Результаты кругового КС-теста для пары «кадастровая стоимость – цена предложения» (верхний ряд) и для пары «кадастровая стоимость – цена сделки» (нижний ряд)

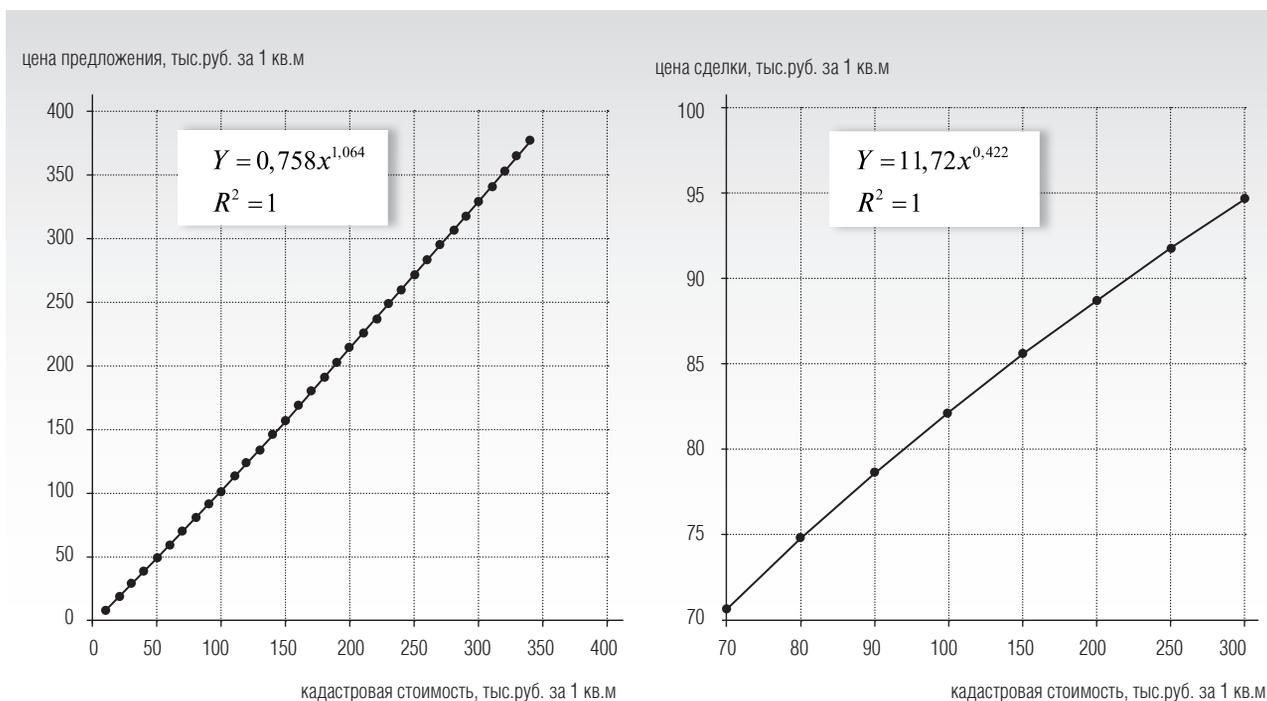


Рис. 4. Зависимости рыночной стоимости, определенной по ценам предложений, от кадастровой стоимости (слева) и рыночной стоимости, полученной по ценам сделок, от кадастровой стоимости (справа)

Объекты одинаковой кадастровой стоимости не обязательно будут выставлены на продажу и проданы по одинаковой стоимости. Однако, если при определении кадастровой стоимости соблюдался принцип «кадастровая стоимость определяется как рыночная стоимость, полученная методами массовой оценки на дату оценки», то оценщик вправе при построении оценки исходить из предположения, что два таких объекта имеют примерно одинаковую рыночную стоимость. Более того, так как кадастровая стоимость устанавливается для целей налогообложения, то принцип социальной справедливости предполагает, что за объекты с одинаковой рыночной стоимостью собственники должны уплачивать равные налоги. Именно поэтому возникает задача периодического пересмотра кадастровой стоимости.

В нашем случае кадастровая стоимость также выступает в качестве инструмента для вывода зависимости между ценой предложения и ценой сделки (или между ценой предложения и коэффициентом-мультипликатором, определяющим скидку на торг). Подставляя значения коэффициентов (6) и (7) в формулы (4) и (5), получаем:

$$MV_{cd} = 13,08 MV_{ин}^{0,396}$$

$$K = 13,08 MV_{ин}^{-0,604}$$

Обе зависимости приведены на *рисунке 5*.

Зависимость, показанная на правой диаграмме *рисунка 5*, фактически описывает оценку скидки на торг в секторе вторичной жилой недвижимости в г. Санкт-Петербурге в 2017 году. Как видно, оценка скидки на торг не является константой. Для сектора вторичной жилой недвижимости, в сегменте «масс-маркет» она при цене предложения 140 тыс.руб./кв.м. может достигать 35%. Кроме того, эта же линия указывает, что цену предложения ниже 70 тыс.руб./кв.м. назначать следует с осторожностью. Например, цена предложения в 60 тыс.руб./кв.м. отстает от наиболее вероятной цены продажи на 10% (примерно 66 тыс.руб./кв.м.). Однако это не означает, что продавец, получив такую информацию, должен немедленно назначить цену как можно выше. Большинство продавцов исходят из рациональных соображений, соизмеряя время экспозиции с потребностями в денежных средствах и желанием продать объект дороже. В основном такая информация нужна оценочному сообществу для обоснованного выбора скидки на торг при оценке объектов недвижимого имущества.

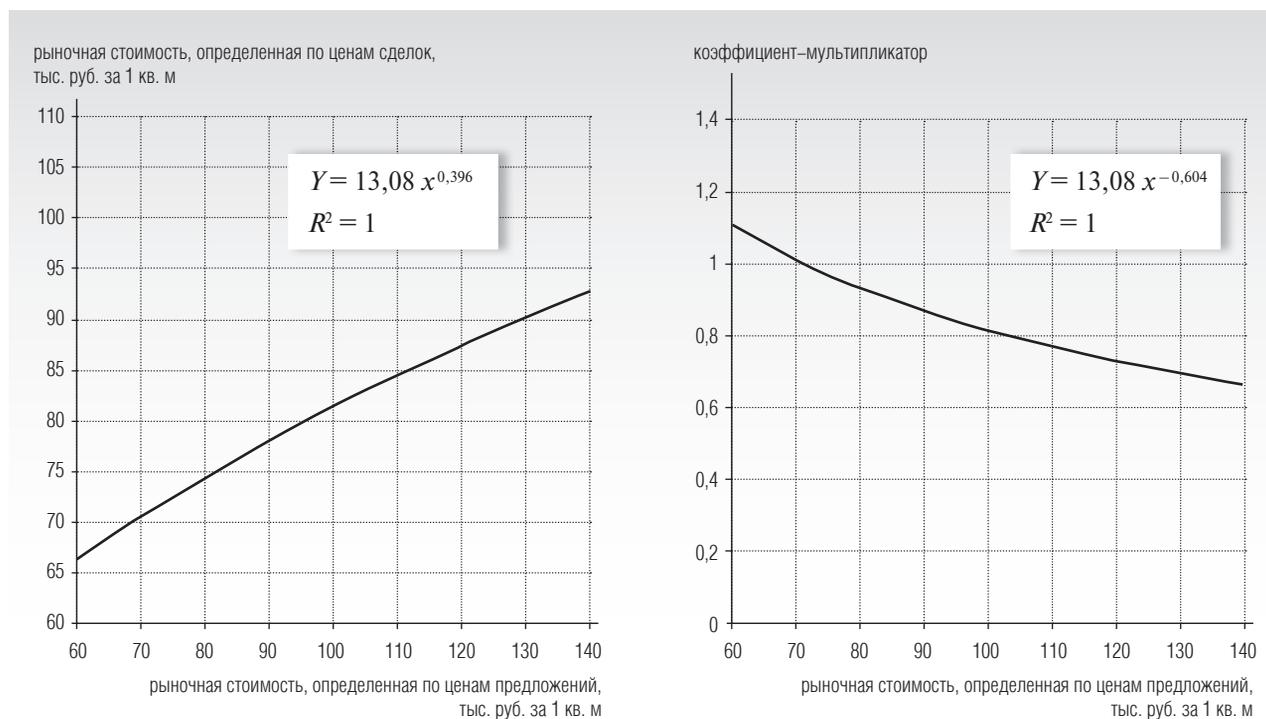


Рис. 5. Зависимость оценки рыночной стоимости, определенной по ценам сделок, от оценки рыночной стоимости, полученной по ценам предложений (слева) и зависимость коэффициента-мультипликатора от цены предложения (справа)

Заключение

Создание института кадастровой стоимости в Российской Федерации открывает новые, ранее не доступные методы анализа рынка недвижимости и оценки рыночных показателей, в частности, определения скидки на торг.

Кадастровая стоимость, определенная как рыночная стоимость на дату оценки до даты очередного ее пересмотра, является важным инструментом анализа, а не только базой для расчета имущественного налога.

Предложенный подход (сопоставление цен предложений и сделок с кадастровой стоимостью, определенной методами массовой оценки как рыночная стоимость на дату оценки) может быть применен и при корректировке кадастровой стоимости. Подробно мы рассматриваем этот вопрос в недавно опубликованной статье [18], поводом к написанию которой послужила оживленная дискуссия в оценочном обществе о качестве определения кадастровой стоимости. Подробный анализ методологических проблем определения кадастровой стоимости можно найти в статье профессора С.П. Коростелева [19]. ■

Литература

1. Aitchinson J., Brown J.A.C. The lognormal distribution with special references to its uses in economics. Cambridge: Cambridge University Press, 1963.
2. Ciurlia P., Gheno A. A model for pricing real estate derivatives with stochastic interest rates // *Mathematical and Computer Modeling*. 2009. No. 50. P. 233–247.
3. Ohnishi T., Mizuno T., Shimizu C., Watanabe T. On the evolution of the house price distribution // *Columbia Business School. Center of Japanese Economy and Business. Working Paper Series*. May 2011. No. 296.
4. Никулина Т.В., Пономарева О.А., Пупенцова С.В. Логарифмически нормальное распределение цен на жилые объекты недвижимости элитного класса и эконом-класса // *Неделя науки СПбПУ. Материалы научного форума с международным участием* / Отв. ред. О.В. Калинина, С.В. Широкова. СПб, 2015. С. 435–437.
5. Русаков О.В., Ласкин М.Б., Джаксумбаева О.И. Стохастическая модель ценообразования на рынке недвижимости: формирование логнормальной генеральной совокупности // *Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО*. 2015. № 5. С. 116–127.
6. Rusakov O., Laskin M., Jaksumbaeva O. Pricing in the real estate market as a stochastic limit. Log Normal approximation // *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*. 2016. Vol. 10. P. 229–236.
7. Федеральный закон от 29.07.1998 № 135-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об оценочной деятельности в Российской Федерации». [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19586/ (дата обращения 01.06.2018).
8. European valuation standards 2012 / The European Group of Valuers' Associations. Brussels, 2012. [Электронный ресурс]: <https://ru.scribd.com/document/254068172/Valuation-Standards-2012-for-European-Countries> (дата обращения 01.06.2018).
9. International valuation standards 2013. Framework and requirements / International Valuation Standard Council. London, 2013. [Электронный ресурс]: http://www.valuersinstitute.com.au/docs/professional_practice/International%20Valuation%20Standards%202013.pdf (дата обращения 01.06.2018).
10. RICS valuation professional standard 2014 / Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), 2014. [Электронный ресурс]: http://hoadd.noordhoff.nl/sites/7605/_assets/7605d24.pdf (дата обращения 01.06.2018).
11. Uniform standards of professional appraisal practice. 2018–2019 edition / The Appraisal Foundation, 2018. [Электронный ресурс]: <http://www.usrap.org/> (дата обращения 01.06.2018).
12. Ласкин М.Б. Корректировка рыночной стоимости по ценообразующему фактору «площадь объекта» // *Имущественные отношения в Российской Федерации*. 2017. № 8 (191). С. 86–99.
13. Ласкин М.Б. Статистический анализ результатов торгов. Интервал стартовой цены // *Имущественные отношения в Российской Федерации*. 2018. № 1 (196). С. 19–29.
14. Русаков О.В., Ласкин М.Б., Джаксумбаева О.И. Определение коэффициента капитализации по статистическим данным // *Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО*. 2016. № 1. С. 14–22.
15. Русаков О.В., Ласкин М.Б., Джаксумбаева О.И. Оценка показателей рынка недвижимости по статистическим данным на основе многомерного логарифмически нормального закона // *Экономический журнал Высшей школы экономики*. 2016. Т. 20. № 2. С. 268–284.
16. Приказ Комитета имущественных отношений Санкт-Петербурга от 27.08.2015 № 59-п «Об утверждении результатов определения кадастровой стоимости помещений площадью менее 3000 кв. м на территории Санкт-Петербурга».
17. Отчет об определении кадастровой стоимости объектов недвижимости (за исключением земельных участков), расположенных на территории Санкт-Петербурга / КУГИ Правительства Санкт-Петербурга. 2012. Т. 2. Раздел 2.3.
18. Ласкин М.Б., Гадасина Л.В. Как определить кадастровую стоимость // *Имущественные отношения в Российской Федерации*. 2018. № 3 (198). С. 42–53.
19. Коростелев С.П. О «единой федеральной методологии» кадастровой оценки недвижимости и земли / Библиотека LABRATE.RU. [Электронный ресурс]: http://www.labrate.ru/articles/2017-1_korostelev.pdf (дата обращения 28.05.2017).

Determination of the trading discount based on market data and cadastral value

Mikhail B. Laskin

Senior Researcher

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences;

Associate Professor, Faculty of Economics

St. Petersburg University

Address: 7–9, Universitetskaya Emb., St. Petersburg, 199034, Russia

E-mail: laskinmb@yahoo.com

Abstract

The introduction of the institution of cadastral value in the Russian Federation opens up new opportunities in real estate valuation. In this regard, the new focus for appraisers is statistical analysis of multidimensional empirical distributions that were not previously available, because the real estate market does not have pairwise and multidimensional observations concentrated in unified databases. Data of interest to analysts is usually concentrated in different sources from different owners and pertains to different objects. The goal of combining them can be solved by comparing such data with the data of cadastral records, namely the cadastral number as a unique identifier of the object. Since the cadastral value corresponds to each cadastral number, it is possible to compare the cadastral value with important indicators such as the market price of the offer, the transaction price, the rental rate, the annual price indices, the capitalization rate, the discount rate, the trading discount and many other indicators, the formation of which involves more than two random variables. The construction of the model involves the principle of following the prices formed by pair comparisons to geometric Brownian motion, and hence the formation of lognormal population. As it turned out, as a result of large-scale cadastral work carried out in the Russian Federation in 2014, the cadastral value is also subject to lognormal distribution of prices (in each class of objects). For the market value (as the most probable price of the transaction under conditions of perfect competition), this leads to functional dependences from the cadastral value of the power type. Similarly, many other indicators will also be subject to dependences in the form of power functions. Obviously, having a function depending from the various indicators of cadastral value across the set of values, you can set the relationship between the various indicators, which was impossible before the introduction of the institution of cadastral value. This article proposes a method of calculating the trading discount when appraising real estate based on analysis of market statistics and databases of cadastral records. An analytical formula of the dependence of trading discounts from the offer price is proposed. The method allows us to set the level of the discount not only for objects included in an advertising database, but also for any object that has undergone cadastral registration.

Key words: trading discount; cadastral value; market value; stochastic pricing model; lognormal distribution of prices.

Citation: Laskin M.B. (2018) Determination of the trading discount based on market data and cadastral value. *Business Informatics*, no. 3 (45), pp. 53–61. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.3.53.61.

References

1. Aitchinson J., Brown J.A.C. (1963) *The lognormal distribution with special references to its uses in economics*. Cambridge, Cambridge University Press.
2. Ciurlia P., Gheno A. (2009) A model for pricing real estate derivatives with stochastic interest rates. *Mathematical and Computer Modeling*, no. 50, pp. 233–247.
3. Ohnishi T., Mizuno T., Shimizu C., Watanabe T. (2011) *On the evolution of the house price distribution*. Columbia Business School. Center of Japanese Economy and Business. Working Paper Series, no. 296.
4. Nikulina T.V., Ponomareva O.A., Popentzova S.V. (2015) Logarifmicheski normal'noe raspredelenie tsen na zhilye ob'ekty nedvizhimosti elitnogo klassa i ekonom-klassa [Lognormal distribution of prices for residential real estate of elite class and economy class]. *Week of science of SPbSPU. Materials of the scientific forum with international participation* (ed. O.V. Kalinina, S.V. Shirokova). Saint Petersburg, pp. 435–437 (in Russian).
5. Rusakov O.V., Laskin M.B., Jaksumbaeva O.I. (2016) Stokhasticheskaya model' tsenoobrazovaniya na rynke nedvizhimosti: formirovanie lognormal'noy general'noy sovokupnosti [Stochastic pricing model for the real estate market. Formation of lognormal general population]. *Economics, Statistics and Informatics. UMO Bulletin*, no. 5, pp. 116–127 (in Russian).

6. Rusakov O.V., Laskin M.B., Jaksumbaeva O.I. (2016) Pricing in the real estate market as a stochastic limit. Log Normal approximation. *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, vol. 10, pp. 229–236.
7. The Federal Law of 29.07.1998 No. 135-FZ (edition of 29.07.2017) “*Ob otsenochnoy deyatel’nosti v Rossiyskoy Federatsii*” [“About valuation activity in the Russian Federation”]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19586/ (accessed 01 June 2018) (in Russian).
8. The European Group of Valuers’ Associations (2012) *European valuation standards 2012*. Available at: <https://ru.scribd.com/document/254068172/Valuation-Standards-2012-for-European-Countries> (accessed 01 June 2018).
9. International Valuation Standard Council (2013) *International valuation standards 2013. Framework and requirements*. Available at: http://www.valuersinstitute.com.au/docs/professional_practice/International%20Valuation%20Standards%202013.pdf (accessed 01 June 2018).
10. Royal Institution of Chartered Surveyors (2014) *RICS valuation professional standard 2014*. Available at: http://hoadd.noordhoff.nl/sites/7605/_assets/7605d24.pdf (accessed 01 June 2018).
11. The Appraisal Foundation (2018) *Uniform standards of professional appraisal practice. 2018–2019 edition*. Available at: <http://www.uspap.org/> (accessed 01 June 2018).
12. Laskin M.B. (2017) Korrektirovka rynochnoy stoimosti po tsenoobrazuyushchemu faktoruu “ploshchad’ ob’ekta” [Market value adjustment for the pricing factor “square”]. *Property Relations in the Russian Federation*, no. 8 (191), pp. 86–99 (in Russian).
13. Laskin M.B. (2018) Statisticheskii analiz rezul’tatov trgov. Interval startovoy tseny [Statistical analysis of the auction results. Starting price interval]. *Property Relations in the Russian Federation*, no. 1 (196), pp. 19–29 (in Russian).
14. Rusakov O.V., Laskin M.B., Jaksumbaeva O.I. (2016) Opredelenie koeffitsienta kapitalizatsii po statisticheskim dannym [Determination of capitalization coefficient using statistical data]. *Economics, Statistics and Informatics. UMO Bulletin*, no. 1, pp. 14–22 (in Russian).
15. Rusakov O.V., Laskin M.B., Jaksumbaeva O.I. (2016) Otsenka pokazateley rynka nedvizhimosti po statisticheskim dannym na osnove mnogomernogo logarifmicheskogo normal’nogo zakona [Estimation of the real estate market indexes according to statistical data and based on multidimensional log-normal distribution]. *HSE Economic Journal*, vol. 20, no. 2, pp. 268–284 (in Russian).
16. St. Petersburg Committee of Property Relations (2015) *On approval of the results of the cadastral value of the premises with the area less than 3,000 sq m on the territory of St. Petersburg*. The order of the St. Petersburg Committee of Property Relations, 27 August 2015, no. 59-p.
17. Government of St. Petersburg (2012) *The report on determination of cadastral value of real estate objects (except for the parcels of land) located in the territory of St. Petersburg*, vol. 2, section 2.3.
18. Laskin M.B., Gadasina L.V. (2018) Kak opredelit’ kadastruvuyu stoimost’ [How to determine cadastral value]. *Property Relations in the Russian Federation*, no. 3, pp. 42–53 (in Russian).
19. Korostelev S.P. (2017) O “*edinoy federal’noy metodologii*” kadastrvoy otsenki nedvizhimosti i zemli [On the “uniform Federal methodology” of cadastral valuation of real estate and land]. Available at: http://www.labrate.ru/articles/2017-1_korostelev.pdf (accessed 28 May 2017) (in Russian).

Влияние технологий Интернета вещей на экономику

М.С. Токарева

эксперт отдела исследований цифровой экономики
Институт статистических исследований и экономики знаний
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Адрес: 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20
E-mail: mtokareva@hse.ru

К.О. Вишнеvский

кандидат экономических наук
заведующий отделом исследований цифровой экономики
Институт статистических исследований и экономики знаний
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Адрес: 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20
E-mail: kvishnevsky@hse.ru

Л.П. Чихун

кандидат экономических наук
доцент экономического факультета
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Адрес: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 46
E-mail: chihun@mail.ru

Аннотация

В данной статье приводится анализ одной из ключевых трансформационных сил настоящего времени – Интернета вещей, который существенно влияет на будущее развитие всех сфер жизни и является причиной радикальных изменений в рамках перехода к четвертой промышленной революции. Целью исследования является определение потенциальных экономических эффектов от внедрения технологий Интернета вещей на различных рынках. Для достижения этой цели в работе последовательно решаются следующие задачи: идентификация и классификация основных рынков приложений Интернета вещей путем совершенствования подходов ряда организаций; выявление, оценка и анализ экономических эффектов в результате использования решений Интернета вещей в рамках предложенной классификации; определение будущих направлений развития технологий Интернета вещей. На основе сочетания таких методологических подходов, как «жизненный цикл технологии» и «жизненный цикл принятия обществом новой технологии» определяются перспективы развития Интернета вещей. Теория жизненного цикла технологий рассматривается через призму методики исследовательской компании Gartner (цикл зрелости новых технологий), основой которой является достижение консенсуса среди широкого круга экспертных оценок ведущих специалистов в области информационно-коммуникационных технологий. Сопоставление двух указанных методик и экспертных оценок позволяет сделать вывод, что на сегодняшний день Интернет вещей представляет наибольший интерес для группы «ранних последователей», но имеет высокий потенциал для дальнейшего распространения.

Ключевые слова: Интернет вещей; информационные и коммуникационные технологии; жизненный цикл технологии; жизненный цикл принятия технологии; цифровизация; умные вещи; глобализация.

Цитирование: Токарева М.С., Вишнеvский К.О., Чихун Л.П. Влияние технологий Интернета вещей на экономику // Бизнес-информатика. 2018. № 3 (45). С. 62–78.
DOI: 10.17323/1998-0663.2018.3.62.78.

Введение

Переход к четвертой промышленной революции характеризуется конвергенцией передовых технологий и стиранием границ между объектами физической, цифровой и биологических сфер. Основываясь на опыте влияния предшествующих промышленных революций, ожидается стремительный рост инновационных технологий, воздействующих на развитие различных сфер общественной жизни. К числу таких технологий относится Интернет вещей, все более востребованный бизнес-сообществом и постоянно наращивающий свой рыночный потенциал. Прогнозируется рост рынка технологий Интернета вещей с 176 млрд долл. в 2016 году до 639,74 млрд долл. к 2022 году при среднегодовом темпе прироста в 25,1% в 2017–2022 годах [1].

Скорость проникновения технологических инноваций во все сферы экономики и общества возрастает экспоненциально во многом благодаря распространению и внедрению информационно-коммуникационных технологий. В ближайшие 10–15 лет ожидается следующий радикальный скачок, который будет связан с внедрением технологий Интернета вещей [2]. В результате увеличения степени взаимосвязанности различных бытовых приборов (например, роботизированных комплексов в рамках цифрового производства) посредством сенсоров и датчиков, подключенных к Интернету и функционирующих без вмешательства человека, происходит цифровая трансформация секторов экономики (промышленного производства, транспорта, медицины, сельского хозяйства и др.), меняющая характер взаимодействия между людьми и машинами. В период до 2025 года экономический эффект от внедрения технологий Интернета вещей оценивается в размере от 2,7 трлн долл. до 6,2 трлн долл. ежегодно [3]. К 2030 году вклад промышленного Интернета вещей в мировую экономику может составить около 14 трлн долл. [4]. Наряду с этим количество подключенных устройств в странах ОЭСР увеличится с 1 млрд (2016 год) до 14 млрд (к 2022 году) [5].

1. Обзор литературы

В настоящее время интерес к технологиям Интернета вещей со стороны исследователей возрастает, о чем свидетельствует рост научных публикаций в данной области (*рисунок 1*).

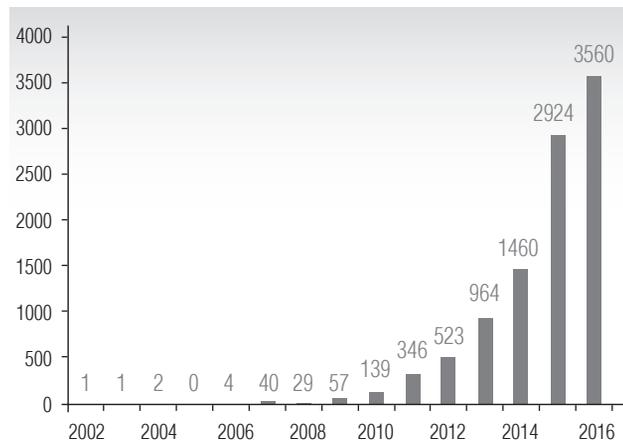


Рис. 1. Количество публикаций в области Интернета вещей (на основе Web on Science)

Первое упоминание об Интернете вещей в рамках научных трудов ученых-экономистов принадлежит авторам работы [6], которые исследовали влияние технологий Интернета вещей на экономику и общество. Интерес к данной сфере совпал с запуском компанией Amazon первого облачного веб-сервиса в 2002 году, стимулирующего распространение облачных вычислений, влияющих на развитие Интернета вещей. Затем в 2004 году ученые из Массачусетского технологического института опубликовали статью, посвященную широкому кругу аспектов развития Интернета вещей [7]. Авторы отмечают преимущества возможности подключения объектов к сетям данных, заключающиеся в оптимизации электрической сети в домах, снижении стоимости и сложности строительства зданий, развитии технологий, повышающих качество услуг по оказанию медицинской помощи в домашних условиях и др. Особо подчеркиваются актуальность и значимость решения проблемы стандартизации [7–9], являющейся в настоящее время одним из основных барьеров распространения технологий Интернета вещей. Решением данного вопроса занимаются как государственные органы власти, так и бизнес-сообщество, объединяясь в различные ассоциации и консорциумы.

Эволюция технологий Интернета вещей требует совершенствования инфраструктуры, обеспечивающей взаимосвязь между подключенными датчиками и сенсорами и глобальной сетью Интернет. Авторы работы [10] считают, что необходимо развивать технологии туманных вычислений в системах Интернета вещей путем формирования рас-

пределенных территориально «умных» устройств между сенсорами и облачными сервисами. Также высказывается мнение, что технологии облачных вычислений являются многообещающим подходом к решению некоторых проблем в сфере Интернета вещей, препятствующих реализации всего потенциала инновационной концепции в полной мере [8].

Кроме того, исследователи данной области выделяют еще одну проблему, препятствующую широкому распространению технологий Интернета вещей. Так, в работе [11] акцентируется внимание на необходимости решения проблемы интеграции и интероперабельности информационно-коммуникационных технологий и устройств. Особенно это касается таких функций сетевого уровня, как адресация, маршрутизация, мобильность, безопасность и оптимизация ресурсов. Ограничения существующей архитектуры TCP/IP в среде Интернета вещей требуют разработки энергоэффективных технологий дальнего радиуса действия (LPWAN). Подобные ограничения подтверждают позиции технологий Интернета вещей на кривой Gartner, характеризующей степень зрелости новых технологий. Так, технологии Интернета вещей находятся на пике завышенных ожиданий, который характеризуется наличием существенных технологических барьеров, к числу которых относится отсутствие развитой информационно-коммуникационной инфраструктуры с наличием широко распространенных энергоэффективных сетей [12].

Кроме того, проникновению технологий Интернета вещей в различные сферы экономики и общества препятствуют возрастающие угрозы в области кибербезопасности. Так, авторы работы [13] предлагают применять уже существующие международные правила в сфере кибербезопасности в контексте Интернета вещей, а также разрабатывать альтернативные подходы к решению данной проблемы непосредственно для технологий Интернета вещей, чему будет способствовать стандартизация данной сферы. В работе [9] утверждается, что ключом к успешному развитию экосистемы Интернета вещей является сотрудничество между органами стандартизации, поскольку в настоящее время «умные» устройства используют разные стандарты, что усложняет либо делает невозможным взаимодействие между устройствами.

Несмотря на все трудности развития технологий Интернета вещей, они становятся все более востребованными в секторах экономики в связи с воз-

можностями увеличения производительности и повышения качества жизни. Таким образом, целью данного исследования является идентификация экономических эффектов от внедрения технологий Интернета вещей в различных секторах. Для достижения поставленной цели в исследовании последовательно решаются такие задачи, как выявление и классификация основных рынков приложений технологий Интернета вещей, а также определение и оценка экономических эффектов от внедрения технологий Интернета вещей в выявленных сегментах. Основываясь на сочетании таких методологических подходов, как жизненный цикл технологий и жизненный цикл принятия новых технологий, анализируется сценарий развития технологий Интернета вещей.

Структура работы включает описание методологии исследования, анализ воздействия Интернета вещей на экономику, а также прогноз развития Интернета вещей на основе теорий в области жизненного цикла технологий.

2. Методология

Поскольку Интернет вещей является относительно новой технологией, представляется целесообразным определить сегменты рынка Интернета вещей в отсутствие общепринятой классификации. Поэтому первый этап исследования посвящен идентификации сегментов рынка Интернета вещей и совершенствованию существующих классификаций. В дальнейшем в рамках исследования авторская классификация используется для определения экономических эффектов от имплементации технологий Интернета вещей в каждом сегменте.

Для формирования прогноза развития технологий Интернета вещей используется «таймлайн», характеризующий уровень готовности технологий. Таймлайн широко применяется в целях научно-технического прогнозирования, в том числе при проведении форсайт-исследований и построении технологических дорожных карт. Научные исследования, посвященные анализу развития технологий, также встречаются в работе [14], авторы которой разработали динамическую модель процесса развития инноваций и продуктов. Модель представляет тесную связь между инновационными продуктами, самим инновационным процессом и стратегией компании. Иными словами, динамическая модель инноваций — это комбинация модели жизненного цикла продукта, модели жизненного цикла процес-

са и различных конкурентных стратегий. Авторы определили три этапа, каждый из которых влияет на отдельные компании, рынок и ресурсы, необходимые для создания инноваций.

Различные подходы к созданию траектории развития инноваций также разрабатывались позднее. Для целей исследования используется методология Gartner, ввиду наличия актуальных экспертных оценок для широкого круга инновационных технологий. На основе совместного использования двух подходов, – цикла зрелости технологий Gartner и теории жизненного цикла принятия технологии, – были проанализированы перспективы развития технологий Интернета вещей.

Методология Gartner по выявлению уровня развития возникающих технологий широко используется как на корпоративном, так на государственных уровнях для принятия более взвешенных решений относительно будущего развития технологий, скорости их принятия, взаимного влияния и конкуренции между ними. В визуальном представлении методологии Gartner вертикальная ось иллюстрирует меняющиеся ожидания стейкхолдеров в отношении возникающей технологии. До 2009 года ось ординат имела другое название – «видимость», но позже было заменено на «ожидания» как более подходящую характеристику, включающую отношение как потенциальных, так и реальных пользователей к инновационной технологии, а также инвестиционные решения относительно ее дальнейшего развития [15].

Оценка технологии в рамках методологии Gartner включает в себя пять ключевых этапов: сценарии, опросы, выявление паттернов, стресс-тест (“stalking horse”) и валидацию. На первом этапе необходимо установить исследовательские цели на основе метода опроса. Анализируя данные из различных источников, таких как аналитические отчеты, научные статьи, монографии, статистические сборники и др. выявляются возникающие новые тренды на рынках [16]. Далее необходимо изменить предположения и обновить сценарии. Четвертый этап, – стресс-тест, – предполагает изучение и обсуждение результатов с представителями различных сообществ аналитиков и ученых. Наконец, результаты сопоставляются с множеством внутренних и внешних источников.

Концепция жизненного цикла принятия технологии также представляется не менее востребованным инструментом, отражающим уровень развития

технологии [17] и предполагает поэтапное восприятие инноваций. При этом в основе выделения групп потребителей лежит анализ психологических и социальных портретов различных сегментов этого сообщества. Согласно данному подходу, население делится на пять групп по степени принятия новых технологий: новаторы, ранние последователи, раннее большинство, позднее большинство и отстающие.

Объединив два описанных выше подхода, представляется возможным идентифицировать группу потребителей, которая будет предъявлять спрос на технологию в первую очередь. Обладание подобным знанием позволит компаниям разрабатывать маркетинговые стратегии продвижения продуктов на рынке Интернета вещей. Подобный метод уже был использован в рамках исследований ряда ученых [18; 19].

Такой подход позволил сформировать портрет потребителя продуктов и услуг, созданных с применением технологий Интернета вещей. Использование данной методики позволило идентифицировать группу потребителей, для которых решения в области Интернета вещей представляют наибольший интерес в настоящее время, а также потенциальную группу потребителей в краткосрочной перспективе. Сочетание теоретических подходов позволило авторам перенести результаты обширного экспертного опроса Gartner на область другой теоретической концепции (жизненный цикл принятия технологии, для которого такие масштабные экспертные исследования не проводились) и проанализировать феномен Интернета вещей через эту призму.

3. Рынок Интернета вещей

На основе анализа различных практик (Gartner, IDC, McKinsey, Forrester, IoT Analytics, Ростелеком и т.д.) была составлена авторская классификация рынка Интернета вещей, в основе которой в качестве критерия выбран субъект рынка Интернета вещей – бизнес (промышленный Интернет вещей), потребители (потребительский сегмент Интернета вещей), государство (государственный сегмент Интернета вещей). Промышленный Интернет вещей охватывает различные отрасли экономики, где использование технологий Интернета вещей может радикально изменить бизнес-процессы, повысить производительность и операционную эффективность. Потребительский сегмент

Интернета вещей включает продуктовые решения, созданные на основе технологий Интернета вещей, используемые населением в повседневной жизни. Использование Интернета вещей в государственном сегменте нацелено, в первую очередь, на повышение общественной безопасности. Информационно-коммуникационные технологии отличаются междисциплинарностью и актуальностью во всех вышеупомянутых сегментах, включая облачные вычисления, большие данные, технологические платформы Интернета вещей, сенсорные технологии и др. Авторская классификация рынка Интернета вещей демонстрирует потенциальные перспективные сегменты внедрения технологий Интернета вещей.

Учитывая то, что цифровизация является одним из доминирующих трендов, влияющих на бизнес, в результате которого организационные подразделения предприятия интегрируются в единую сеть, многие процессы производства и администрирования могут управляться в режиме онлайн с использованием облачных вычислений и систем Интернета вещей в режиме реального времени. В соответствии с прогнозом, объем рынка Интернета вещей в бизнес-сегменте к 2020 году достигнет 5,4 млрд устройств [20; 21].

Промышленный Интернет вещей преобразует бизнес-процессы, повышает эффективность всей цепочки создания стоимости, что в конечном счете приводит к формированию новых бизнес-моделей и рынков. Основными направлениями применения технологий Интернета вещей являются эффективное управление поставками, грузовыми перевозками и активами, диагностика и телеметрия машин, управление запасами, контроль промышленной автоматизации, мониторинг оборудования в реальном времени и др. В соответствии с опросом, проведенным компанией Accenture [4], наибольший эффект от распространения промышленного Интернета вещей в России будет наблюдаться в следующих секторах: здравоохранение (данный сектор выделили 74% респондентов из России, представляющие разные отрасли экономики), промышленность (56%), энергетика (32%). В *таблице 1* представлены экономические эффекты от внедрения промышленного Интернета вещей в различных секторах экономики, включая промышленность, логистику, энергетика, добычу полезных ископаемых, сельское хозяйство, транспорт, строительство, финансы (составлено авторами на основе работ [22–26]).

Использование технологий Интернета вещей позволяет вывести производство на качественно новый уровень. В результате становится возможным интегрировать в производство гибкие производственные системы, а также цифровые системы управления, что упрощает управление производством, ускоряет его и значительно увеличивает его гибкость. В этой связи необходимо своевременно внедрять перспективные технологии, однако из-за высокой стоимости ноу-хау внедрение инноваций становится затруднительным, хотя и является ключевым вопросом. Также важно уделять достаточное внимание компетентности сотрудников и совершенствовать их навыки [27].

Максимальная автоматизация рутинных производственных операций (передовое производство) за счет внедрения систем промышленного Интернета вещей будет способствовать увеличению степени интеграции между участниками одной технологической цепочки (включая поставщиков, логистику, маркетинг, и даже вовлечь потребителей в производственный процесс, получая информацию от них в режиме реального времени) путем создания единого информационного поля. Это может повысить гибкость производства, скорость выпуска продукции на рынке, а также сократить затраты на оптимизацию. Развитие технологий промышленного Интернета вещей в России основано на профессиональных компетенциях специалистов в сфере разработки алгоритмов и программ. Это предоставляет широкие возможности для равного участия российских организаций в международных консорциумах и проектах в области Интернета вещей [28].

Существует множество примеров внедрения Промышленного Интернета вещей как на национальном уровне (например, внедрение интеллектуальных счетчиков в Германии [29]), так и на уровне предприятия (ERP-система для создания умной фабрики в V&R Industrial Automation в Австрии и др. [30]).

Интернет Вещей в потребительском сегменте способствует улучшению качества жизни за счет автоматизации многих повседневных операций, освобождения времени и предоставления новых возможностей, ранее недоступных для потребителей (таблица 2, составлено авторами на основе работ [25; 26; 31–43]). Создание беспилотных автомобилей – перспективное применение технологий Интернета вещей. Согласно прогнозам Hitachi, к 2020 году 90% новых автомобилей в Европе бу-

Таблица 1.

Экономические эффекты от внедрения технологий промышленного Интернета вещей

B2B (промышленный Интернет вещей)			
Промышленность	Логистика	Энергетика	Добыча полезных ископаемых
<ul style="list-style-type: none"> экономия эксплуатационных расходов на 2,5–5%, включая техническую поддержку; повышение скорости вывода продукта на рынок на 30%; снижение затрат, связанных с планированием и закупками, на 40%; увеличение производительности на 10–25%; снижение затрат на техническое обслуживание заводского оборудования на 40%; сокращение времени простоя оборудования на 50%; сокращение инвестиционных затрат на капитальное оборудование на 5%; снижение затрат на инвентаризацию на 20–50% 	<ul style="list-style-type: none"> снижение трудозатрат на 30%; сокращение времени обработки заказа на 30%; снижение затрат на ремонт на 12%; снижение общих расходов на обслуживание на 30%; сокращение времени простоя на 70% 	<ul style="list-style-type: none"> снижение спроса во время пиковой нагрузки на сеть на 2–4% 	<ul style="list-style-type: none"> экономия эксплуатационных расходов от повышения производительности на 5–10%; 3,7 трлн долл. экономия в глобальных эксплуатационных расходах на добычу полезных ископаемых до 2025 года
Сельское хозяйство	Транспорт	Строительство	Финансы
<ul style="list-style-type: none"> снижение стоимости повреждения транспортного средства на 25%, за счет предотвращения столкновений и повышения безопасности; внедрение передовых ирригационных систем и точного земледелия в 20–40% хозяйств; повышение урожайности на 10–20% за счет прецизионного применения удобрений и орошения 	<ul style="list-style-type: none"> экономия в размере 28 млн долл. за 10 лет за счет использования смарт-автобусов; экономия в размере 53 млн долл. за 10 лет за счет использования смарт-парковки; экономия топлива на 20–25%; сокращение количества аварий на 79%; сокращение времени ожидания автомобиля на 40%; сокращение времени поездки на 26% 	<ul style="list-style-type: none"> сокращение общих затрат на весь жизненный цикл проекта на 20% 	<ul style="list-style-type: none"> сокращение затрат на развертывание системы управления зданием и операционных расходов в офисах компаний из финансовой индустрии на 30%

дут подключены к Интернету (30% – в 2016 году). Комплементарными технологиями для беспилотных автомобилей становятся интеллектуальные транспортные системы, создаваемые для подобных транспортных средств. С 2011 года в Москве строится развитая интеллектуальная транспортная система, включающая управление техническими средствами регулирования и организации движения, контроль парковки, фото-видеосвязь нарушений правил дорожного движения, мониторинг параметров транспортного потока, контроль и регулирование организации движения [44].

Технологии «умного» дома направлены на обеспечение максимально комфортного размещения, безопасности и ресурсосбережения. Ожидается, что к 2022 году рынок «умного» дома достигнет

121,7 млрд долл., (среднегодовые темпы прироста – 14,1%) [45]. Сегмент «умного» дома включает следующие направления: управление освещением, безопасность и контроль доступа, управление системами отопления, вентиляции и кондиционирования, ИКТ-системы в области развлечения, медицинская помощь на дому, а также «умная» кухня.

Технологии Интернета вещей востребованы в сфере коммунальных услуг, и их использование позволяет снизить затраты на электроэнергию, водоотведение и отопление в рамках домашнего хозяйства. Такая экономия ресурсов оказывает положительное влияние на окружающую среду из-за сокращения количества потребляемых природных ресурсов, в том числе невозобновляемых.

**Экономические эффекты Интернета вещей
в потребительском сегменте**

Потребительский сегмент Интернета вещей (B2C)		
Умный город	Носимые интеллектуальные устройства, здравоохранение	«Умный» дом
<ul style="list-style-type: none"> сокращение среднего времени проезда на 10–20% за счет управления дорожным трафиком; снижение потребления воды на 10–20% и мониторинг возможных утечек с помощью интеллектуальных счетчиков и контроля спроса; снижение стоимости обработки отходов на 10–20%; экономия энергии на 60% за счет перехода на уличное освещение; снижение потерь при пользовании услуг водоотведения на 20%; сокращение уличной преступности на 30% 	<ul style="list-style-type: none"> снижение затрат при лечении хронических заболеваний на 10–20% за счет дистанционного мониторинга состояния здоровья; сокращение числа случаев подделки лекарств на 80–100%; экономия времени медицинского персонала на 0,5–1 час в день; экономический эффект от дистанционного мониторинга состояния здоровья пациентов с хроническими заболеваниями – 1,1 трлн долл. в год в 2025 году; снижение затрат от клинической или операционной неэффективности на 25% (около 100 млрд долл. в год); сокращение времени на ремонт подключенных устройств на 50%; сокращение затрат за счет использования дистанционного мониторинга на 2000 долл. для каждой задачи; сокращение числа вызовов специалистов по обслуживанию и ремонту оборудования на 20% 	<ul style="list-style-type: none"> снижение использования воды на 30–50%; уменьшение среднего счета на оплату расходов за водоотведение и использование воды на 50–90 долл.; снижение энергопотребления на 88%; переработка 96% строительных отходов; сокращение на 30–50% расходов на оплату электроэнергии (дополнительно 198 долл. в год или 16,5 долл. в месяц)
Торговля и ремонт	Спорт, отдых, развлечения	Образование
<ul style="list-style-type: none"> рост продаж на 1,5–7%; точность инвентаризации – 99,5%; сокращение запасов на 50% 	<ul style="list-style-type: none"> снижение операционных расходов на 25% 	<ul style="list-style-type: none"> уменьшение оплаты за использование электроэнергии в школах на 60%

К 2050 году прогнозируется увеличение спроса на водные ресурсы на 55%. Спрос на энергоресурсы также увеличится на 37% к 2040 году [46]. В связи с этим потребность в ресурсосберегающих и энергоэффективных технологиях становится все более острой с каждым годом.

Еще одним преимуществом от использования технологий Интернета вещей в области жилищно-коммунального хозяйства является экономия времени на оформление документов (заполнение квитанций, сбор информации о ежемесячных расходах на воду и электроэнергию). Решение проблемы сбора данных для повторяющихся рутинных транзакций возможно благодаря созданию «умных» счетчиков (счетчики воды, электроэнергии, тепла), подключенных к системе Интернета вещей и способных отправлять уведомления об оплате на смартфон [44].

Дополнительная возможность управления энергопотреблением связана с «умными» бытовыми приборами (стиральными и посудомоечными машинами, сушилками и др.). Благодаря исполь-

зованию встроенных датчиков и приложений Интернета вещей становится возможным автоматическое включение этих приборов в период действия минимальных ежедневных тарифов. Кроме того, «умные» приборы могут уведомить владельца о нежелательном запуске в случае применения максимальной ставки.

Многочисленные «умные» приложения для домашних систем требуют дальнейшего совершенствования в связи с наличием проблем в области обеспечения безопасности, связанных с потреблением энергии, маркетингом и совместимостью устройств. Кроме того, необходимо в дальнейшем проводить исследования и разработки в области устройств Интернета вещей и ИТ-инфраструктуры по практическому использованию встроенных датчиков нового поколения, которыми оснащены электрические устройства, о чем свидетельствуют исследования ряда ученых (например, [47]).

В свою очередь, технологии Интернета вещей в городской среде направлены на разработку инновационных решений для инфраструктуры, энергосбе-

режения, строительства и организации общественного пространства. Подключение установленных датчиков на транспортных средствах и дорогах позволяет контролировать движение в реальном времени. Кроме того, развитие подобной городской инфраструктуры увеличивает вероятность обнаружения похищенных автомобилей. В будущем информация о состоянии дорожного трафика и дорожной системы в целом (качество дорожной инфраструктуры и др.) будет генерироваться интеллектуальными транспортными системами и передаваться в транспортные средства. Это будет средством функционирования системы городского транспорта и приведет к сокращению перегрузок на ряде городских магистралей, уменьшению выбросов углекислого газа и др.

Таким образом, перспективность развития концепции «умного» города признается в ряде государств. Так, стратегическое направление «Умная городская мобильность», разработанное в рамках инициативы Сингапура «Smart Nation», является ярким примером внедрения технологий Интернета вещей. Реализация проектов направлена на совершенствование системы общественного транспорта в результате внедрения цифровых технологий и использования данных, собираемых различными устройствами [48]. В Сингапуре развитие Интернета вещей стимулируется путем предоставления доступа компаниям, занимающихся разработкой программного обеспечения, к системе датчиков, развернутых по всему городу. В результате данные, платформы Интернета вещей и программные интерфейсы приложений (APIs) становятся открытыми и позволяют создавать инновационные продукты и услуги в экосистеме Интернета вещей.

Технология Интернета вещей в здравоохранении способна оказать огромное влияние не только на качество предоставляемых медицинских услуг, но и расширить возможности современной медицины. Использование сенсоров способно на ранних стадиях выявить заболевание, в частности, для диагностики острых респираторных инфекций с помощью «карманных» биосенсоров, что приведет к уменьшению затрат на лечение и снижению потерь от нетрудоспособности. Технологии Интернета вещей в здравоохранении направлены на формирование устойчивого спроса на новое качество жизни. За счет медицинских биотехнологий и услуг персонализированной медицины возможно существенное увеличение продолжительности жизни населения, а также достижение значительных успехов

в лечении онкологических, сердечно-сосудистых и инфекционных заболеваний [46].

Интернет вещей открывает новые возможности в сферах ритейла и финансов. На основе мониторинга информации о передвижениях товаров благодаря «умной» упаковке с меткой радиочастотной идентификации (Radio Frequency Identification, RFID) производители смогут более эффективно выстраивать свои маркетинговые стратегии (разрабатывать различные программы лояльности и увеличения среднего чека, а также индивидуальные предложения для клиентов).

Существенное влияние Интернет вещей оказывает на степень проникновения финансовых услуг за счет использования бесконтактных платежей, осуществляемых посредством технологии беспроводной высокочастотной связи малого радиуса действия (до 10 см) — NFC (Near Field Communication), поддерживаемой смартфоном. Кроме того, в банковской сфере также возможно углубление кастомизации и индивидуализация предложений услуг на основе анализа данных, консолидируемых в результате развития технологий Интернета вещей.

В настоящее время Интернет вещей меняет представление о медиа и сфере развлечений за счет использования технологий виртуальной и дополненной реальности. Совершенствование качества услуг связи открывает возможность использования медиа с высоким разрешением в любое время и при любых обстоятельствах. Виртуальная реальность, доступная через мобильные устройства и приложения, затрагивает почти все социальные практики, становясь не только популярным способом социального взаимодействия, но и одной из форм развлечений. Технологии виртуальной и дополненной реальности предполагают погружение пользователя в контент, получение обратной связи от пользователя на основе анализа его эмоций: будут разрабатываться проекты, в рамках которых будет возможность действовать внутри фильма, выбирать место или героя от имени рассказчика. Технологии виртуальной и дополненной реальности наиболее широко применяются в потребительском сегменте (54%), а доля государственного и бизнес-сегмента составляет всего 46% [49].

Новое направление разработки концепции Интернета вещей — социальный Интернет вещей (Social Internet of Things, SIoT), основанный на интеграции Интернета вещей и концепции социальных сетей. Синтез двух этих направлений име-

ет потенциал для поддержки новых приложений и сетевых сервисов для Интернета вещей более эффективными способами. Кроме того, взаимодействие «умных» устройств в рамках SIoT напоминает поведенческие паттерны людей в социальных сетях: «умные» устройства способны устанавливать социальные связи и общаться друг с другом. Это возможно благодаря модели Search Social Internet of Things (SSIoT), поскольку поисковая система служит в качестве среды между двумя элементами интеграции. Соответственно, SSIoT существенно влияет на возможности и спецификации SIoT, но в то же время способствует ускорению распространения вредоносного кода, что подчеркивается в исследовании [50].

Новая парадигма SIoT имеет большой потенциал для приложений Интернета вещей и различных сетевых сервисов, которые повышают эффективность и скорость разработки и распространения этой инновации. Были идентифицированы типы и характеристики социальных отношений, которые могут быть установлены технологиями в SIoT: отношения OOR (Ownership Object Relationship – отношения с объектами собственности), отношения SOR (Social Object Relationship – социальные отношения) и отношения C-WOR (Co-work object relationship – совместная работа). В соответствии с различными типами отношений SIoT будет иметь различную архитектуру, мобильность и масштабируемость [51].

В дополнение «умные» устройства предоставляют возможность перенести реальность в виртуальное измерение в режиме онлайн-защиты. В экосистеме Интернета вещей смарт-устройства способны не только быть частью социальной сети людей, но и создавать собственную «социальную» сеть. В дальнейшем это будет способствовать разработке новых эффективных сервисов и приложений для людей, что послужило стимулом для создания новой концепции – Web of Things. Эта парадигма предназначена для автоматической публикации различной информации и данных на сайтах социальных сетей. Однако главная проблема данной концепции заключается в сложности управления многочисленными устройствами и архитектурой веб-приложений [52].

В последнее время наблюдается активное развитие **государственного сегмента Интернета вещей**. Одной из наиболее эффективных систем электронного предоставления услуг в государственном сегменте Интернета вещей является платформа

X-Road в Эстонии, благодаря которой граждане могут выполнять практически любую операцию [53]. Кибербезопасность X-Road основана на технологии блокчейн (KSI blockchain), которая позволяет отслеживать любое взаимодействие с системой [54]. Интероперабельность Интернета вещей и блокчейна позволит улучшить безопасность IoT-устройств, а также увеличит масштабируемость системы Интернета вещей и скорость взаимодействия включенных в нее устройств. В настоящее время планируется привлечь малый и средний бизнес для использования платформы, а также расширить границы использования технологий за счет привлечения бизнеса и населения [55].

Для дальнейшего развития технологий Интернета вещей необходимо решить ряд проблем в различных областях. Прежде всего, следует совершенствовать ИКТ-инфраструктуру, а также внедрять механизмы государственной поддержки адаптации новых технологий. Например, в Великобритании IoTUK Boost запустила программу, направленную на развертывание сетей Интернета вещей, которые могут быть использованы малыми и средними предприятиями [56]. Успешным примером развертывания Интернет-инфраструктуры является Эстония, где международный оператор Интернета вещей Sigfox создал национальную сеть для устройств Интернета вещей, доступ к которой планируется обеспечить для всего населения Эстонии.

В связи со стремительно развивающимся процессом цифровизации компаниям необходимо пересмотреть формы партнерства, расширить доступ к информации и обеспечить новый уровень децентрализации рабочей среды. Для более эффективного взаимодействия между сотрудниками потребуются новые типы организационных структур на уровне предприятий, в том числе на платформенных технологиях. Кроме того, необходимо разработать и внедрить новые стандарты взаимодействия и обеспечения кибербезопасности [21; 57].

Несмотря на динамичное развитие технологий Интернета вещей и положительные результаты от его внедрения в настоящее время отсутствует консенсус в отношении концепции экосистемы Интернета вещей. До сих пор нерешенным вопросом остается проблема стандартизации в области Интернета вещей, причем необходимо разрабатывать не только технические стандарты, но и нормативно-правовые. В результате увеличения количества пользователей также будет расширяться разнообра-

зие механизмов и сценариев их использования. Необходимо учитывать эволюцию Интернета вещей в связи с функциональной совместимостью человеческой деятельности и электронных устройств. Текущее состояние дел связано с решением ряда проблем и проведением исследований, как социальных, экономических, так и технологических [58].

Развитие Интернета вещей неразрывно связано с необходимостью повысить доверие потребителей к новым инновационным продуктам и услугам, основанным на конфиденциальности и безопасности данных, создаваемых с помощью различных устройств [59]. Значительной инициативой в этом направлении является деятельность Международного союза электросвязи (МСЭ). В 2012 году МСЭ представил Рекомендацию ITU-T Y.2060 с целью разработать стандарты в области Интернета вещей. В этом документе раскрываются определение (понятие) Интернета вещей и сфера его использования, идентифицируются ключевые характеристики, особенности и недостатки технологии, формируется эталонная модель Интернета вещей. Также представлены модели экосистем и бизнеса. Таким образом, реализация этих стандартов может привести к унификации требований, функциональной совместимости «умных» устройств, расширению сферы применения технологии и решению проблемы гетерогенности в вычислительных системах [60].

Для устранения препятствий в развитии Интернета вещей различные международные организации разрабатывают рекомендации и стандарты в этой области. Так, CSA Mobile Working Group разработала Руководство по безопасности в области Интернета вещей с учетом специфики внедрения технологий Интернета вещей в различных секторах экономики. В основу документа были положены исследования данных и архитектур в разных отраслях промышленности и проверки мер безопасности. Во избежание дублирования предпринимались действия по их выявлению, а также по согласованию деятельности рабочих групп различных секторов [59].

Общемировой практикой является объединение усилий, направленных на стимулирование инноваций путем формирования глобальных добровольных стандартов, разработанных регулирую-

щими органами или отраслевыми консорциумами, необходимых для обеспечения функциональной совместимости и развития экосистемы Интернета вещей. Среди основных характеристик консорциумов можно выделить прототипирование и увеличение масштабов производства в качестве основного направления деятельности, сетевой принцип взаимодействия, самообслуживаемый (после окончания бюджетного финансирования) вид деятельности, основанный на сотрудничестве бизнеса (включая малые и средние предприятия), научных и образовательных организаций. В марте 2014 года при участии Intel, IBM, Cisco, GE и AT&T был создан Консорциум промышленного Интернета (Industrial Internet Consortium, ИС), объединяющий организации с целью развития и распространения промышленного Интернета вещей путем выявления, сбора информации и обмена передовым опытом¹.

В России также был создан консорциум – Национальная ассоциация участников рынка промышленного Интернета (НАПИ)², среди членов которого преобладают представители сферы информационных технологий (55,6%), но также присутствуют представители таких секторов, как телекоммуникации, космическая деятельность, электрическое оборудование и коммерческие услуги (по 11,1%). Это свидетельствует о востребованности технологий Интернета вещей в различных секторах экономики.

Анализ членов Консорциума промышленного Интернета вещей наглядно демонстрирует те сектора мировой экономики, которые уже проявляют интерес к решениям на основе технологий Интернета вещей. В дополнение к ИТ-компаниям научные организации, исследовательские и консалтинговые компании также участвуют в разработке и стандартизации Интернета вещей. В отличие от зарубежного консорциума, анализируемого в рамках исследования, российские научные организации не являются участниками НАПИ. В связи с этим авторы хотели бы рекомендовать включаться в работу по разработке и стандартизации Интернета Вещей в рамках российского консорциума как научным организациям, так и компаниям из других секторов (энергетики, финансов, машиностроения и др.), с целью сбалансированного развития Интернета вещей в России.

¹ <https://www.iiconsortium.org/members.htm>

² <http://iotunion.ru/en/uchastniki?limitstart=0>

4. Перспективы развития Интернета вещей

В рамках анализа Интернета вещей со стороны предложения необходимо решить один из актуальных вопросов: каким образом компании, осуществляющие экономическую деятельность в области Интернета вещей, могли бы преуспеть в дальнейшем продвижении продуктов и услуг на основе технологий Интернета вещей. С этой целью была исследована взаимосвязь между двумя теоретическими концепциями (жизненный цикл технологии на основе модели Gartner и жизненный цикл принятия обществом новых технологий), которая позволяет вывить наиболее релевантную целевую группу потребителей продуктов и услуг в области Интернета вещей.

Сравнение двух вышеупомянутых концепций [18; 19] показывает, что решения в области Интернета вещей привлекают потребителей, относящихся к группе ранних последователей, для которых преимущества от использования технологии Интернета вещей являются значимыми, и они готовы использовать устройства Интернета вещей для удовлетворения своих потребностей. Поскольку ранние последователи зачастую используют свою собственную интуицию при принятии решений о приобретении продуктов и услуг, основанных на новых технологиях, они играют ключевую роль в открытии любого нового сегмента рынка цифровых технологий. В соответствии с концепцией жизненного цикла принятия новых технологий существует непростая задача – преодолеть так называемый «разрыв» и привлечь группу «раннего большинства» в использовании решений, основанных на технологиях Интернета вещей.

Заключение

Скорость и эффективность разработки технологий Интернета вещей в течение следующих 15 лет в значительной степени зависят от дальнейшего распространения фиксированной и мобильной широкополосной связи, а также снижения стоимости подключенных устройств [5; 28]. Кроме того, расширение потенциала Интернета вещей возможно благодаря развитию и использованию технологий обработки и анализа больших данных, генерируемых различными датчиками и подключенными устройствами. Навыки анализа данных являются ключевой компетенцией в будущем. В этой связи существует возможность возрастания

социального неравенства: часть населения будет широко использовать новые возможности, открываемые посредством внедрения технологий Интернета вещей, улучшающих их качество жизни, в то время как для других эти преимущества будут недоступны [46].

В рамках дальнейших исследований в данной предметной области представляется актуальным составить социально-психологические портреты потребителей для каждого сегмента рынка Интернета вещей, проанализированных в настоящем исследовании. Идентификация этих групп потребителей будет востребована отделами маркетинга и развития бизнеса в компаниях, провайдерами платформ и приложений Интернета вещей, а также государством.

Следует отметить, что часть населения не замечает, как технологии Интернета вещей постепенно становятся частью их повседневной жизни. Уже сейчас, приобретая новые апартаменты, потребители зачастую получают новое жилье с встроенными решениями Интернета вещей, направленными на экономию потребляемой электроэнергии и воды. Необходимо информировать население о новых возможностях, возникающих в результате использования устройств Интернета вещей для стимулирования спроса на них со стороны как бизнеса, так и населения.

Также необходимо отметить, что технология Интернета вещей, будучи одной из ключевых технологий четвертой промышленной революции, аналогично предыдущим промышленным революциям влияет на рынок труда. Последний аспект может быть перспективной областью для дальнейших исследований. С одной стороны, растет спрос на высококвалифицированных специалистов, особенно в области облачных вычислений, больших данных и т.д. Но, с другой стороны, распространение Интернета вещей приводит к снижению спроса на низкоквалифицированную рабочую силу. Для решения возникающих социальных проблем необходимо реализовывать программы по повышению квалификации сотрудников как на государственном уровне, так и на микроуровне (уровне предприятий). Поэтому необходимо расширять прием студентов университетами на направления в области ИКТ, открывать новые программы, готовящих как бакалавров, так и магистров в области Интернета вещей, облачных вычислений, больших данных, распределенных вычислений и других «сквозных» цифровых технологий. Например, в США

более полумиллиона студентов со специальностью STEM (наука, технология, инженерия и математика) ежегодно выпускаются учебными заведениями, в Китае — 4,7 млн студентов [61]. Кроме того, на микроуровне компаниям необходимо совершенствовать навыки сотрудников, чтобы оставаться конкурентоспособными на современных динамично меняющихся рынках. ■

Литература

1. Internet of Things technology market by node component (processor, sensor, connectivity IC, memory device, and logic device), network infrastructure, software solution, platform, service, end-use application, and geography – Global forecast to 2022 / Markets and Markets, 2017. [Электронный ресурс]: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/iot-application-technology-market-258239167.html> (дата обращения 30.01.2018).
2. Индустриальный Интернет вещей: Революционные изменения в промышленности // Глобальные технологические тренды. 2016. № 10. [Электронный ресурс]: https://issek.hse.ru/data/2016/11/15/1110389295/%D0%98%D0%A2%D0%A2_10_2016.pdf (дата обращения 08.12.2017).
3. Digital globalization: The new era of global flows. Report, McKinsey Global Institute, February 2016 / J. Manyika [et al.]. [Электронный ресурс]: www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/digital-globalization-the-new-era-of-global-flows (дата обращения 25.12.2017).
4. Winning the Industrial Internet of Things. How to accelerate the journey to productivity and growth / Accenture, 2015. [Электронный ресурс]: https://www.accenture.com/us-en/~media/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Digital_1/Accenture-Industrial-Internet-of-Things-Positioning-Paper-Report-2015.pdf (дата обращения 11.01.2018).
5. OECD digital economy outlook 2015. Paris: OECD Publishing, 2015. [Электронный ресурс]: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264232440-en> (дата обращения 10.12.2017).
6. Schoenberger C., Upbin B. The internet of things // Forbes, 18 March 2002. [Электронный ресурс]: <http://www.fbcoverup.com/docs/library/2002-03-18-The-internet-of-things-by-Chana-Schoenberger-and-Bruce-Upbin-FORBES-Mar-18-2002.pdf> (дата обращения 10.12.2017).
7. Gershenfeld N., Krikorian R., Cohen D. The Internet of Things. The principles that gave rise to the Internet are now leading to a new kind of network of everyday devices, an “Internet-0” // Scientific American. 2004. No. 10. P. 76–81. [Электронный ресурс]: http://fab.cba.mit.edu/classes/S62.12/docs/Cohen_Internet.pdf (дата обращения 25.12.2017).
8. On the interplay of Internet of Things and Cloud Computing: A systematic mapping study / E. Cavalcante [et al.] // Computer Communications. 2016. Vol. 89–90. P. 17–33.
9. Park H., Kim H., Joo H., Song J. Recent advancements in the Internet-of-Things related standards: A oneM2M perspective // ICT Express. 2016. Vol. 2. No. 3. P. 126–129.
10. Exploiting smart e-Health gateways at the edge of healthcare Internet-of-Things: A fog computing approach / A.M. Rahmani [et al.] // Future Generation Computer Systems. 2017. Vol. 78. No. 2. P. 641–658.
11. Bello O., Zeadally S., Badra M. Network layer inter-operation of Device-to-Device communication technologies in Internet of Things (IoT) // Ad Hoc Networks. 2017. No. 57. P. 52–62.
12. Gartner’s 2015 Hype Cycle for emerging technologies identifies the computing innovations that organizations should monitor / Gartner, 2015. [Электронный ресурс]: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3114217> (дата обращения 10.12.2017).
13. Weber R.H., Studer E. Cybersecurity in the Internet of Things: Legal aspects // Computer Law & Security Review. 2016. Vol. 32. No. 5. P. 715–728.
14. Utterback J.M., Abernathy W.J. A dynamic’ model of process and product innovation // Omega. 1975. Vol. 3. No. 6. P. 639–656.
15. Fenn J., Raskino M. Understanding Gartner’s Hype Cycles, 2011 / Gartner, 2011. [Электронный ресурс]: <https://www.gartner.com/doc/1748018/understanding-gartners-hype-cycles-> (дата обращения 09.12.2017).
16. Technology-related insights for your critical business decisions. Gartner Research Methodologies / Gartner, 2017. [Электронный ресурс]: http://www.gartner.com/imagesrv/research/methodologies/gartner_methodologies.pdf (дата обращения 10.12.2017).
17. Beal G.M., Bohlen J.M. The diffusion process // Iowa State College. Special report No. 18. 1957. [Электронный ресурс]: <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1015&context=specialreports> (дата обращения 19.12.2017).
18. Banerjee U. How experts explain technology adoption cycle / WordPress.com. Technology Trend Analysis, 2012. [Электронный ресурс]: <https://setandbma.wordpress.com/2012/05/28/technology-adoption-shift/> (дата обращения 20.12.2017).
19. Rao S.V., Cohen M.G. Staying ahead of the curve // Cardiovascular Revascularization Medicine. 2014. Vol. 15. No. 4. P. 193–194.
20. Internet of Things / Cisco, 2016. [Электронный ресурс]: <http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/se/internet-of-things/at-a-glance-c45-731471.pdf> (дата обращения 18.12.2017).
21. State of the market. Internet of Things 2016 / Verizon, 2016. [Электронный ресурс]: <https://www.verizon.com/about/sites/default/files/state-of-the-internet-of-things-market-report-2016.pdf> (дата обращения 25.12.2017).
22. Smart production. Finding a way forward: how manufacturers can make the most of the Industrial Internet of Things / Accenture, 2016. [Электронный ресурс]: https://www.accenture.com/t20160119T041002Z__w_/us-en/_acnmedia/PDF-5/Accenture-804893-Smart-Production-POV-Final.pdf (дата обращения 25.12.2017).
23. Disruptive technologies: The Benefits of Digital Manufacturing / CIMdata, 2002. [Электронный ресурс]: <https://www.cimdata.com/newsletter/2009/25/01/25.01.01.htm> (дата обращения 24.10.2017).

24. Ezell S. IoT and smart manufacturing / 2016. [Электронный ресурс]: http://www2.itif.org/2016-ezell-iot-smart-manufacturing.pdf?_ga=1.261819661.1089858538.1464487061 (дата обращения 17.12.2017).
25. Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy / J. Manyika [et al.]. [Электронный ресурс]: <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/disruptive-technologies> (дата обращения 25.12.2017).
26. Robinson A. How the IoT platform fixes problems in today's logistics industry / Cerasis, 2016. [Электронный ресурс]: <https://cerasis.com/2016/05/02/iot-platform/> (дата обращения 09.12.2017).
27. 2016 Trends in the Internet of Things / 451 Research, 2015. [Электронный ресурс]: <https://451research.com/search?keyword=%222016+Trends+in+the+Internet+of+things%22> (дата обращения 09.12.2017).
28. The Industrial Internet of Things. Why it demands not only new technology – but also a new operational blueprint for your business / PwC, 2016. [Электронный ресурс]: <https://www.pwc.com/ru/en/kiadvanyok/assets/pdf/industrial-internet-of-things.pdf> (дата обращения 25.12.2017).
29. Reforming the German energy sector / Metering & Smart Energy International, 2017. [Электронный ресурс]: <https://www.metering.com/magazine-article/reforming-german-energy-sector/> (дата обращения 24.04.2018).
30. Smart Factory: Industry 4.0 @ B&R / Industrial Internet Consortium, 2016. [Электронный ресурс]: http://www.iiconsortium.org/pdf/BR_Case_Study.pdf (дата обращения 24.04.2018).
31. Home automation safety, security, savings / My Alarm Center, 2012. [Электронный ресурс]: http://www.loversiq.com/daut/as/m/v/vashos-green-roofed-and-energy-efficient-rd-house-blends-into-a-home-automation-infographic-efficiency-design-sustainable_green-building-home-designs_home-decor_linen-home-decor-decorators-collection-_797x5636.jpg (дата обращения 10.12.2017).
32. Michelsen C. Smart home test shows 88% reduction in household power consumption / 2012. [Электронный ресурс]: <https://cleantechnica.com/2012/08/07/smart-home-test-shows-88-reduction-in-household-power-consumption/> (дата обращения 09.12.2017).
33. The many faces of IoT (Internet of Things) in healthcare / General Electric Company, 2012. [Электронный ресурс]: <https://image.slidesharecdn.com/themanyfacesofiotinhealthcareslideshare-141112104650-conversion-gate02/95/the-many-faces-of-iot-internet-of-things-in-healthcare-11-638.jpg?cb=1416371687> (дата обращения 17.12.2017).
34. Aoun C. The smart city cornerstone: Urban efficiency / 2013. [Электронный ресурс]: [https://www.ogcio.gov.hk/en/news/consultations/d21_submission_2013/doc/079_SchneiderElectric_\(Annex\).pdf](https://www.ogcio.gov.hk/en/news/consultations/d21_submission_2013/doc/079_SchneiderElectric_(Annex).pdf) (дата обращения 22.12.2017).
35. The Internet of Things is now, connecting the real economy / Morgan Stanley (2014). [Электронный ресурс]: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/internet-things-retail-industry//> (дата обращения 09.12.2017).
36. Honda smart home US / Honda, 2015. [Электронный ресурс]: http://thumbnails-visually.netdna-ssl.com/honda-smart-home-us_53333797b44ff_w1500.jpg (дата обращения 10.12.2017).
37. Chamberlin B. Healthcare Internet of Things: 18 trends to watch in 2016 / IBM Center for Applied Insights, 2016. [Электронный ресурс]: <https://ibmcai.com/2016/03/01/healthcare-internet-of-things-18-trends-to-watch-in-2016/> (дата обращения 25.12.2017).
38. Smart cities and the Internet of Things / Hewlett Packard, 2016. [Электронный ресурс]: <https://h20195.www2.hp.com/V2/getpdf.aspx/4AA6-5129ENW.pdf> (дата обращения 10.12.2017).
39. Sellebraten M. Smart cities could cut costs by 30% with open IoT standards / 2016. [Электронный ресурс]: <https://enterpriseiotinsights.com/20160505/smart-cities/smart-cities-cut-costs-tag29> (дата обращения 25.12.2017).
40. Thompson J. (2016) Baseball stadium uses IoT to reduce operational costs by 25 percent / 2016. [Электронный ресурс]: <https://www.engineering.com/IOT/ArticleID/13095/Baseball-Stadium-Uses-IoT-to-Reduce-Operational-Costs-by-25-Percent.aspx> (дата обращения 25.12.2017).
41. Varian Medical Systems case study / 2016. [Электронный ресурс]: <https://www.ptc.com/en/case-studies/varian-medical-systems> (дата обращения 27.12.2017).
42. Internet of Things – Taking digital world by storm / 2017. [Электронный ресурс]: <http://www.eyebriidge.in/blog/internet-of-things-taking-digital-world-by-storm/> (дата обращения 18.12.2017).
43. How to save water using smart home technology / HomeSelfe, 2017. [Электронный ресурс]: <http://www.homeselfe.com/save-water-using-smart-home-technology> (дата обращения: 09.12.2017).
44. Мир, в котором все включено // Ростелеком ПРО. 2015. № 3 (18). С. 38–41.
45. Smart home market by product (lighting control (timer, daylight sensor, occupancy sensor), security & access control, HVAC, entertainment, home healthcare and smart kitchen), software & service (behavioral, proactive), and geography – Global forecast to 2022 / Markets and Markets (2016). [Электронный ресурс]: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-homes-and-assisted-living-advanced-technologie-and-global-market-121.html> (дата обращения 10.12.2017).
46. OECD science, technology and innovation outlook 2016. Paris: OECD Publishing, 2016. [Электронный ресурс]: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2016_sti_in_outlook-2016-en (дата обращения 10.12.2017).
47. A review of smart home applications based on Internet of Things / M. Alaa [et al.] // Journal of Network and Computer Applications. 2017. Vol. 97. P. 48–65.
48. Smart nation. Strategic national projects / Smart Nation and Digital Government Office, 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.smartnation.sg/about/Smart-Nation> (дата обращения 15.05.2018).
49. Virtual & augmented reality: Understanding the race for the next computing platform / Goldman Sachs // Equity Research. 13 January 2016. [Электронный ресурс]: <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/technology-driving-innovation-folder/virtual-and-augmented-reality/report.pdf> (дата обращения 25.12.2017).

50. Search engine: The social relationship driving power of Internet of Things / C. Fu [et al.] // Future Generation Computer Systems (in press). [Электронный ресурс]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X17307884?via%3Dihub> (дата обращения 26.04.2018).
51. Atzori L., Iera A., Morabito G., Nitti M. The Social Internet of Things (SIoT) – When social networks meet the Internet of Things: Concept, architecture and network characterization // Computer Networks. 2012. Vol. 56. No. 16. P. 3594–3608.
52. Atzori L., Carboni D., Iera A. Smart things in the social loop: Paradigms, technologies, and potentials // Ad Hoc Networks. 2014. No. 18. P. 121–132.
53. X-Road / e-Estonia, 2018. [Электронный ресурс]: <https://e-estonia.com/solutions/interoperability-services/x-road/> (дата обращения 23.04.2018).
54. KSI blockchain / e-Estonia, 2018. [Электронный ресурс]: <https://e-estonia.com/solutions/security-and-safety/ksi-blockchain/> (дата обращения 23.04.2018).
55. Internet of Things. The new government to business platform. A review of opportunities, practices, and challenges / The World Bank Group, 2017. [Электронный ресурс]: <http://documents.worldbank.org/curated/en/610081509689089303/pdf/120876-REVISED-WP-PUBLIC-Internet-of-Things-Report.pdf> (дата обращения 24.04.2018).
56. IoTUK Boost 2017. Accelerating internet of things innovation with access to LPWAN testbeds across the UK with IoTUK boost / IoTUK, 2016. [Электронный ресурс]: <https://iotuk.org.uk/iotuk-boost-2017/> (дата обращения 24.04.2018).
57. Unlocking the potential of the Internet of Things / J. Manyika [et al.]. [Электронный ресурс]: <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>, дата обращения 25.12.2017.
58. Shin D. A socio-technical framework for Internet-of-Things design: A human-centered design for the Internet of Things // Telematics and Informatics. 2014. Vol. 31. No. 4. P. 519–531.
59. Security guidance for early adopters of the Internet of Things (IoT) / Cloud Security Alliance, 2015. [Электронный ресурс]: https://downloads.cloudsecurityalliance.org/whitepapers/Security_Guidance_for_Early_Adopters_of_the_Internet_of_Things.pdf (дата обращения 24.04.2018).
60. Recommendation ITU-T Y.2060. Overview of the Internet of Things / ITU (2012). [Электронный ресурс]: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I> (дата обращения 26.04.2018).
61. РИА (2017) Квантовая гонка вооружений: Китай пошел на обгон США. [Электронный ресурс]: <https://ria.ru/analytics/20170511/1494076882.html> (дата обращения 25.12.2017).

The impact of the Internet of Things technologies on economy

Mariya S. Tokareva

*Expert, Department of Digital Economy Research
Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge
National Research University Higher School of Economics
Address: 20, Myasnitskaya Street, Moscow, 101000, Russia
E-mail: mtokareva@hse.ru*

Konstantin O. Vishnevskiy

*Head of Department of Digital Economy Research
Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge
National Research University Higher School of Economics
Address: 20, Myasnitskaya Street, Moscow, 101000, Russia
E-mail: kvishnevsky@hse.ru*

Ludmila P. Chikhun

*Associate Professor, Faculty of Economics
Lomonosov Moscow State University
Address: 1, build. 46, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia
E-mail: chihun@mail.ru*

Abstract

This study presents the analysis of one of the major contemporary transformational forces – the Internet of Things (IoT), which significantly influences the future development of all spheres of life. The purpose of the research is to identify the potential economic effects of IoT implementation in different markets. To achieve this goal, the following tasks are consistently solved in the study: identification and classification of the main IoT applications markets; detection, assessment and analysis of the economic effects of the IoT in the selected segments within the proposed classification; formation of future directions of IoT development. Based on the combination of such methodological approaches as technology life cycle and technology adoption life cycle, perspectives of the IoT development are set out. The technology life cycle is viewed through the prism of the methodology of the research company Gartner (the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies), based on establishing a consensus among a wide range of assessments of leading experts in the field of information and communication technologies. Comparison of the two methods and expert assessments allows us to conclude that, according to the methodology of technology adoption life cycle, the Internet of Things is of interest only for a group of “early adopters.”

Key words: Internet of Things; information and telecommunication technologies; technology life cycle; technology adoption life cycle; digitalization; smart things; globalization.

Citation: Tokareva M.S., Vishnevskiy K.O., Chikhun L.P. (2018) The impact of the Internet of Things technologies on economy. *Business Informatics*, no. 3 (45), pp. 62–78. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.3.62.78.

References

1. Markets and Markets (2017) *Internet of Things technology market by node component (processor, sensor, connectivity IC, memory device, and logic device), network infrastructure, software solution, platform, service, end-use application, and geography – Global forecast to 2022*. Available at: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/iot-application-technology-market-258239167.html> (accessed 30 January 2018).
2. ISSEK HSE (2016) Industrial'nyy Internet veshchey: Revolyutsionnyye izmeneniya v promyshlennosti [Industrial Internet of Things: Revolutionary changes in industry]. *Global Technological Trends*, no. 10. Available at: https://issek.hse.ru/data/2016/11/15/1110389295/%D0%98%D0%9A%D0%A2_10_2016.pdf (accessed 08 December 2017) (in Russian).
3. Manyika J., Lund S., Bughin J., Woetzel J., Stamenov K., Dhingra D. (2016) *Digital globalization: The new era of global flows. Report, McKinsey Global Institute, February 2016*. Available at: www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/digital-globalization-the-new-era-of-global-flows (accessed 25 December 2017).
4. Accenture (2015) *Winning the Industrial Internet of Things. How to accelerate the journey to productivity and growth*. Available at: https://www.accenture.com/us-en/~media/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Digital_1/Accenture-Industrial-Internet-of-Things-Positioning-Paper-Report-2015.pdf (accessed 11 January 2018).
5. OECD (2015) *OECD digital economy outlook 2015*. Paris: OECD Publishing. Available at: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264232440-en> (accessed 10 December 2017).
6. Schoenberger C., Upbin B. (2002) The internet of things. *Forbes*, 18 March 2002. Available at: <http://www.fbcoverup.com/docs/library/2002-03-18-The-internet-of-things-by-Chana-Schoenberger-and-Bruce-Upbin-FORBES-Mar-18-2002.pdf> (accessed 10 December 2017).
7. Gershenfeld N., Krikorian R., Cohen D. (2004) The Internet of Things. The principles that gave rise to the Internet are now leading to a new kind of network of everyday devices, an “Internet-0”. *Scientific American*, no. 10, pp. 76–81. Available at: http://fab.cba.mit.edu/classes/S62.12/docs/Cohen_Internet.pdf (accessed 25 December 2017).
8. Cavalcante E., Pereira J., Alves M.P., Maia P., Moura R., Batista T., Delicato F.C., Pires P.F. (2016) On the interplay of Internet of Things and Cloud Computing: A systematic mapping study. *Computer Communications*, vol. 89–90, pp. 17–33.
9. Park H., Kim H., Joo H., Song J. (2016) Recent advancements in the Internet-of-Things related standards: A oneM2M perspective. *ICT Express*, vol. 2, no. 3, pp. 126–129.
10. Rahmani A.M., Gia T.N., Negash B., Anzanpour A., Azimi I., Jiang M., Liljeberg P. (2017) Exploiting smart e-Health gateways at the edge of healthcare Internet-of-Things: A fog computing approach. *Future Generation Computer Systems*, vol. 78, no. 2, pp. 641–658.
11. Bello O., Zeadally S., Badra M. (2017) Network layer inter-operation of Device-to-Device communication technologies in Internet of Things (IoT). *Ad Hoc Networks*, no. 57, pp. 52–62.
12. Gartner (2015) *Gartner's 2015 Hype Cycle for emerging technologies identifies the computing innovations that organizations should monitor*. Available at: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3114217> (accessed 10 December 2017).
13. Weber R.H., Studer E. (2016) Cybersecurity in the Internet of Things: Legal aspects. *Computer Law & Security Review*, vol. 32, no. 5, pp. 715–728.
14. Utterback J.M., Abernathy W.J. (1975) A dynamic model of process and product innovation. *Omega*, vol. 3, no. 6, pp. 639–656.
15. Fenn J., Raskino M. (2011) *Understanding Gartner's Hype Cycles, 2011*. Available at: <https://www.gartner.com/doc/1748018/understanding-gartners-hype-cycles-> (accessed 09 December 2017).
16. Gartner (2017) *Technology-related insights for your critical business decisions. Gartner Research Methodologies*. Available at: http://www.gartner.com/imagesrv/research/methodologies/gartner_methodologies.pdf (accessed 10 December 2017).
17. Beal G.M., Bohlen J.M. (1957) The diffusion process. *Iowa State College. Special report No. 18*. Available at: <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1015&context=specialreports> (accessed 19 December 2017).

18. Banerjee U. (2012) *How experts explain technology adoption cycle*. WordPress.com. Technology Trend Analysis. Available at: <https://setandbma.wordpress.com/2012/05/28/technology-adoption-shift/> (accessed 20 December 2017).
19. Rao S.V., Cohen M.G. (2014) Staying ahead of the curve. *Cardiovascular Revascularization Medicine*, vol. 15, no. 4, pp. 193–194.
20. Cisco (2016) *Internet of Things*. Available at: <http://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/se/internet-of-things/at-a-glance-c45-731471.pdf> (accessed 18 December 2017).
21. Verizon (2016) *State of the market. Internet of Things 2016*. Available at: <https://www.verizon.com/about/sites/default/files/state-of-the-internet-of-things-market-report-2016.pdf> (accessed 25 December 2017).
22. Accenture (2016) *Smart production. Finding a way forward: how manufacturers can make the most of the Industrial Internet of Things*. Available at: https://www.accenture.com/t20160119T041002Z__w_/us-en/_acnmedia/PDF-5/Accenture-804893-Smart-Production-POV-Final.pdf (accessed 25 December 2017).
23. CIMdata (2002) *Disruptive technologies: The Benefits of Digital Manufacturing*. Available at: <https://www.cimdata.com/newsletter/2009/25/01/25.01.01.htm> (accessed 24 October 2017).
24. Ezell S. (2016) *IoT and smart manufacturing*. Available at: http://www2.itif.org/2016-ezell-iot-smart-manufacturing.pdf?_ga=1.261819661.1089858538.1464487061 (accessed 17 December 2017).
25. Manyika J., Chui M., Bughin J., Dobbs R., Bisson P., Marrs A. (2013) *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/disruptive-technologies> (accessed 25 December 2017).
26. Robinson A. (2016) *How the IoT platform fixes problems in today's logistics industry*. Available at: <https://cerasis.com/2016/05/02/iot-platform/> (accessed 09 December 2017).
27. 451 Research (2015) *2016 Trends in the Internet of Things*. Available at: <https://451research.com/search?keyword=%222016+Trends+in+the+Internet+of+things%22> (accessed 09 December 2017).
28. PwC (2016) *The Industrial Internet of Things. Why it demands not only new technology – but also a new operational blueprint for your business*. Available at: <https://www.pwc.com/hu/en/kiadvanyok/assets/pdf/industrial-internet-of-things.pdf> (accessed 25 December 2017).
29. Metering & Smart Energy International (2017) *Reforming the German energy sector*. Available at: <https://www.metering.com/magazine-article/reforming-german-energy-sector/> (accessed 24 April 2018).
30. Industrial Internet Consortium (2016) *Smart Factory: Industry 4.0 @ B&R*. Available at: http://www.iiconsortium.org/pdf/BR_Case_Study.pdf (accessed 24 April 2018).
31. My Alarm Center (2012) *Home automation safety, security, savings*. Available at: http://www.loversiq.com/daut/as/m/v/vashos-green-roofed-and-energy-efficient-rd-house-blends-into-a-home-automation-infographic-efficiency-design-sustainable_green-building-home-designs_home-decor_lino-home-decor-decorators-collection-_797x5636.jpg (accessed 10 December 2017).
32. Michelsen C. (2012) *Smart home test shows 88% reduction in household power consumption*. Available at: <https://cleantechnica.com/2012/08/07/smart-home-test-shows-88-reduction-in-household-power-consumption/> (accessed 09 December 2017).
33. General Electric Company (2012) *The many faces of IoT (Internet of Things) in healthcare*. Available at: <https://image.slidesharecdn.com/themanyfacesofiotinhealthcareslideshare-141112104650-conversion-gate02/95/the-many-faces-of-iot-internet-of-things-in-healthcare-11-638.jpg?cb=1416371687> (accessed 17 December 2017).
34. Aoun C. (2013) *The smart city cornerstone: Urban efficiency*. Available at: [https://www.ogcio.gov.hk/en/news/consultations/d21_submission_2013/doc/079_SchneiderElectric_\(Annex\).pdf](https://www.ogcio.gov.hk/en/news/consultations/d21_submission_2013/doc/079_SchneiderElectric_(Annex).pdf) (accessed 22.12.2017).
35. Morgan Stanley (2014) *The Internet of Things is now, connecting the real economy*. Available at: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/internet-things-retail-industry/> (accessed 09.12.2017).
36. Honda (2015) *Honda smart home US*. Available at: http://thumbnails-visually.netdna-ssl.com/honda-smart-home-us_53333797b44ff_w1500.jpg (accessed 10 December 2017).
37. Chamberlin B. (2016) *Healthcare Internet of Things: 18 trends to watch in 2016*. Available at: <https://ibmcai.com/2016/03/01/healthcare-internet-of-things-18-trends-to-watch-in-2016/> (accessed 25 December 2017).
38. Hewlett Packard (2016) *Smart cities and the Internet of Things*. Available at: <https://h20195.www2.hp.com/V2/getpdf.aspx/4AA6-5129ENW.pdf> (accessed 10 December 2017).
39. Sellebraten M. (2016) *Smart cities could cut costs by 30% with open IoT standards*. Available at: <https://enterpriseiotinsights.com/20160505/smart-cities/smart-cities-cut-costs-tag29> (accessed 25 December 2017).
40. Thompson J. (2016) *Baseball stadium uses IoT to reduce operational costs by 25 percent*. Available at: <https://www.engineering.com/IOT/ArticleID/13095/Baseball-Stadium-Uses-IoT-to-Reduce-Operational-Costs-by-25-Percent.aspx> (accessed 25 December 2017).
41. Varian Medical Systems (2016) *Varian Medical Systems case study*. Available at: <https://www.ptc.com/en/case-studies/varian-medical-systems> (accessed 27 December 2017).
42. Eyebridge (2017) *Internet of Things – Taking digital world by storm*. Available at: <http://www.eyebridge.in/blog/internet-of-things-taking-digital-world-by-storm/> (accessed 18 December 2017).
43. HomeSelfe (2017) *How to save water using smart home technology*. Available at: <http://www.homeselfe.com/save-water-using-smart-home-technology> (accessed 09 December 2017).
44. Rostelecom (2015) *Mir, v kotorom vse vklyucheno [A world where everything is included]*. *Rostelecom PRO*, no. 3 (18), pp. 38–41 (in Russian).
45. Markets and Markets (2016) *Smart home market by product (lighting control (timer, daylight sensor, occupancy sensor), security & access control, HVAC, entertainment, home healthcare and smart kitchen), software & service (behavioral, proactive), and geography – Global forecast to 2022*. Available at: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-homes-and-assisted-living-advanced-technology-and-global-market-121.html> (accessed 10 December 2017).
46. OECD (2016) *OECD science, technology and innovation outlook 2016*. Paris: OECD Publishing. Available at: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2016_sti_in_outlook-2016-en (accessed 10 December 2017).

47. Alaa M., Zaidan A.A., Zaidan B.B., Talal M., Kiah M.L.M. (2017) A review of smart home applications based on Internet of Things. *Journal of Network and Computer Applications*, no. 97, pp. 48–65.
48. Smart Nation and Digital Government Office (2018) *Smart nation. Strategic national projects*. Available at: <https://www.smartnation.sg/about/Smart-Nation> (accessed 15 May 2018).
49. Goldman Sachs (2016) Virtual & augmented reality: Understanding the race for the next computing platform. *Equity Research*, 13 January 2016. Available at: <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/technology-driving-innovation-folder/virtual-and-augmented-reality/report.pdf> (accessed 25 December 2017).
50. Fu C., Peng C., Liu X.-Y., Yang L.T., Yang J., Han L. (2018) Search engine: The social relationship driving power of Internet of Things // *Future Generation Computer Systems* (in press). Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X17307884?via%3Dihub> (accessed 26 April 2018).
51. Atzori L., Iera A., Morabito G., Nitti M. (2012) The Social Internet of Things (SIoT) – When social networks meet the Internet of Things: Concept, architecture and network characterization. *Computer Networks*, vol. 56, no. 16, pp. 3594–3608.
52. Atzori L., Carboni D., Iera A. (2014) Smart things in the social loop: Paradigms, technologies, and potentials. *Ad Hoc Networks*, no. 18, pp. 121–132.
53. e-Estonia (2018) *X-Road*. Available at: <https://e-estonia.com/solutions/interoperability-services/x-road/> (accessed 23 April 2018).
54. e-Estonia (2018) *KSI blockchain*. Available at: <https://e-estonia.com/solutions/security-and-safety/ksi-blockchain/> (accessed 23 April 2018).
55. The World Bank Group (2017) *Internet of Things. The new government to business platform. A review of opportunities, practices, and challenges*. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/610081509689089303/pdf/120876-REVISED-WP-PUBLIC-Internet-of-Things-Report.pdf> (accessed 24 April 2018).
56. IoTUK (2016) *IoTUK Boost 2017. Accelerating Internet of Things innovation with access to LPWAN testbeds across the UK with IoTUK boost*. Available at: <https://iotuk.org.uk/iotuk-boost-2017/> (accessed 24 April 2018).
57. Manyika J., Chui M., Bisson P., Woetzel J., Dobbs R., Bughin J., Aharon D. (2015) *Unlocking the potential of the Internet of Things*. Available at: <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world> (accessed 25 December 2017).
58. Shin D. (2014) A socio-technical framework for Internet-of-Things design: A human-centered design for the Internet of Things. *Telematics and Informatics*, vol. 31, no. 4, pp. 519–531.
59. Cloud Security Alliance (2015) *Security guidance for early adopters of the Internet of Things (IoT)*. Available at: https://downloads.cloudsecurityalliance.org/whitepapers/Security_Guidance_for_Early_Adopters_of_the_Internet_of_Things.pdf (accessed 24 April 2018).
60. ITU (2012) *Recommendation ITU-T Y.2060. Overview of the Internet of Things*. Available at: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-1> (accessed 26 April 2018).
61. RIA (2017) *Kvantovaya gonka vooruzheniy: Kitay poshel na obgon SShA* [Quantum arms race. China to overtake USA]. Available at: <https://ria.ru/analytics/20170511/1494076882.html> (accessed 25 December 2017) (in Russian).

Представляемая для публикации статья должна быть актуальной, обладать новизной, отражать постановку задачи (проблемы), описание основных результатов исследования, выводы, а также соответствовать указанным ниже правилам оформления.

Текст должен быть тщательно вычитан автором, который несет ответственность за научно-теоретический уровень публикуемого материала.

Материалы представляются в электронном виде по адресу: bjjournal@hse.ru.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

ТЕКСТ СТАТЬИ представляется в редакцию в электронном виде (в формате MS Word, версия 2003 или выше).

ОБЪЕМ. Ориентировочный объем статьи составляет 20-25 тысяч знаков (с пробелами).

ШРИФТ, ФОРМАТИРОВАНИЕ, НУМЕРАЦИЯ СТРАНИЦ

ШРИФТ – Times New Roman, кегль набора – 12 пунктов, полуторный интервал, форматирование по ширине. Нумерация страниц – вверху по центру, поля: левое – 2,5 см, верхнее, нижнее и правое – по 1,5 см.

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ приводится на русском и английском языках. Название статьи должно быть информативным и раскрывать содержание статьи.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ приводятся на русском и английском языках и включают следующие элементы:

- ◆ фамилия, имя, отчество всех авторов полностью
- ◆ должность, звание, ученая степень каждого автора
- ◆ полное название организации – места работы каждого автора в именительном падеже, полный почтовый адрес каждой организации (включая почтовый индекс)
- ◆ адрес электронной почты каждого автора.

АННОТАЦИЯ К СТАТЬЕ представляется на русском и английском языках.

- ◆ Объем – 200-300 слов.
- ◆ Аннотация должна быть информативной (не содержать общих слов).
- ◆ Аннотация должна отражать основное содержание статьи и быть структурированной (следовать логике описания результатов в статье).
- ◆ Структура аннотации: предмет, цель, метод или методологию проведения исследования, результаты исследований, область их применения, выводы.
- ◆ Метод или методологию проведения исследований целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы. В аннотациях статей, описывающих экспериментальные работы, указывают источники данных и характер их обработки.
- ◆ Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые

опровергают существующие теории, а также информации, которая, по мнению автора, имеет практическое значение.

◆ Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье.

◆ Сведения, содержащиеся в названии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. Следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...»).

◆ Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения, в аннотации не приводятся.

◆ В тексте аннотации следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций.

◆ В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА приводятся на русском и английском языках. Количество ключевых слов (словосочетаний) – 6-10. Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой.

ФОРМУЛЫ. При наборе формул, как выключных, так и строчных, должен быть использован редактор формул MS Equation. В формульных и символических записях греческие (русские) символы, а также математические функции записываются прямыми шрифтами, а переменные аргументы функций в виде английских (латинских) букв – наклонным курсивом (пример «cos a», «sin b», «min», «max»). Нумерация формул – сквозная (по желанию авторов допускается двойная нумерация формул с указанием структурного номера раздела статьи и, через точку, номера формулы в разделе).

РИСУНКИ (графики, диаграммы и т.п.) могут быть оформлены средствами MS Word или MS Excel. Ссылки на рисунки в тексте обязательны и должны предшествовать позиции размещения рисунка. Допускается использование графического векторного файла в формате wmf/emf или cdr v.10. Фотографические материалы предоставляются в формате TIF или JPEG, с разрешением изображения не менее 300 точек на дюйм. Нумерация рисунков – сквозная.

ТАБЛИЦЫ оформляются средствами MS Word или MS Excel. Нумерация таблиц – сквозная.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ составляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка (примеры оформления размещены на сайте журнала <http://bi.hse.ru/>). Нумерация библиографических источников – в порядке цитирования. Ссылки на иностранную литературу – на языке оригинала без сокращений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ДЛЯ АНГЛОЯЗЫЧНОГО БЛОКА оформляется в соответствии с требованиями SCOPUS (примеры оформления размещены на сайте журнала <http://bi.hse.ru/>). Для транслитерации русскоязычных наименований можно воспользоваться сервисом <http://translit.ru/>.

ЛИЦЕНЗИОННЫЙ ДОГОВОР

Для размещения полнотекстовых версий статей на сайте журнала с авторами заключается лицензионный договор о передаче авторских прав.

Плата с авторов за публикацию рукописей не взимается.

AUTHORS GUIDELINES

Articles should be topical and original, should outline tasks (issues), describe key results of the author's research and appropriate conclusions.

Manuscripts are submitted via e-mail: bijournal@hse.ru.

MANUSCRIPT REQUIREMENTS

TEXT FILES should be submitted in electronic form, as a MS Word document (version 2003 or higher).

LENGTH. Articles should be between 20 and 25 thousand characters (incl. spaces).

FONT, SPACING, MARGINS. The text should be in Times New Roman 12 pt, 1.5 spaced, fit to the width, margins: left – 25 mm, all other – 15 mm.

TITLE of the article should be submitted in native language and English.

AUTHORS' DETAILS are presented in native language and English. The details include:

- ◆ Full name of each author
- ◆ Position, rank, academic degree of each author
- ◆ Affiliation of each author, at the time the research was completed
- ◆ Full postal address of each affiliation (incl. postcode / ZIP)
- ◆ E-mail address of each author.

ABSTRACT are presented in native language and English.

- ◆ The abstract should be between 200 and 300 words.
- ◆ The abstract should be informative (no general words), original, relevant (reflects your paper's key content and research findings); structured (follows the logics of results' presentation in the paper)
 - ◆ The recommended structure: purpose (mandatory), design / methodology / approach (mandatory), findings (mandatory), research limitations / implications (if applicable), practical implications (if applicable), originality / value (mandatory).
- ◆ It is appropriate to describe the research methods/methodology

if they are original or of interest for this particular research. For papers concerned with experimental work the data sources and data procession technique should be described.

- ◆ The results should be described as precisely and informatively as possible. Include your key theoretical and experimental results, factual information, revealed interconnections and patterns. Give special priority in the abstract to new results and long-term impact data, important discoveries and verified findings that contradict previous theories as well as data that you think have practical value.

- ◆ Conclusions may be associated with recommendations, estimates, suggestions, hypotheses described in the paper.

- ◆ Information contained in the title should not be duplicated in the abstract. Authors should try to avoid unnecessary introductory phrases (e.g. «the author of the paper considers...»).

- ◆ Authors should use the language typical of research and technical documents to compile your abstract and avoid complex grammatical constructions.

- ◆ The text of the abstract should include key words of the paper.

KEYWORDS are presented in native language and English. The number of key words / words combinations are from 6 to 10 (separated by semicolons).

FORMULAE should be prepared using Math Type or MS Equation tool.

FIGURES should be of high quality, black and white, legible and numbered consecutively with Arabic numerals. All figures (charts, diagrams, etc.) should be submitted in electronic form (photo images – in TIF, PSD or JPEG formats, minimum resolution 300 dpi). Appropriate references in the text are required.

REFERENCES should be presented in Harvard style and carefully checked for completeness, accuracy and consistency.

The publication is free of charge.