

БИЗНЕС- ИНФОРМАТИКА

Научный журнал НИУ ВШЭ

СОДЕРЖАНИЕ

А.С. Акопов

Моделирование и оптимизация стратегий принятия индивидуальных решений в многоагентных социально-экономических системах с использованием машинного обучения..... 7

Н.В. Днепровская, И.В. Шевцова

Система менеджмента знаний в стратегическом управлении университетом..... 20

М.Г. Матвеев, Н.А. Алейникова, М.Д. Титова

Технология поддержки принятия решений продавца на маркетплейс в условиях конкуренции..... 41

А.И. Шайдуллин

Проблема интерпретации, дифференциации и классификации цифровых продуктов..... 55

И.Е. Николаев

Интеллектуальный метод формирования списка требований профиля должности на основе нейросетевых моделей языка с использованием таксономии ESCO и корпуса онлайн-вакансий 71

F. Wang

The present and future of the digital transformation of real estate: A systematic review of smart real estate 85



Издатель:
Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

Подписной индекс
Объединенного каталога
«Пресса России» – E79128

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
Е.П. Зараменских

Заместитель главного редактора
Э.А. Бабкин

Компьютерная верстка
О.А. Богданович

Дизайн обложки
О.А. Богданович
(с использованием изображения, сгенерированного нейросетью Midjourney)

Администратор веб-сайта
И.И. Хрусталева

Адрес редакции:
119049, г. Москва,
ул. Шаболовка, д. 26-28
Тел./факс: +7 (495) 772-9590 *28509
<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:
русскоязычная версия – 100 экз.,
англоязычная версия – 100 экз.,
онлайн-версии на русском и английском – свободный доступ

Отпечатано в типографии НИУ ВШЭ
г. Москва, Измайловское шоссе, д. 44, стр. 2

© Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

О ЖУРНАЛЕ

«**Б**изнес-информатика» – рецензируемый междисциплинарный научный журнал, выпускаемый с 2007 года Национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ). Администрирование журнала осуществляется Высшей школой бизнеса НИУ ВШЭ. Журнал выпускается ежеквартально, на русском и английском языках.

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: моделирование социальных и экономических систем, цифровая трансформация бизнеса, управление инновациями, информационные системы и цифровые технологии в бизнесе, анализ данных и системы бизнес-интеллекта, математические методы и алгоритмы бизнес-информатики, моделирование и анализ бизнес-процессов, поддержка принятия управленческих решений.

Журнал «Бизнес-информатика» включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (Перечень ВАК).

Журнал входит в базы Scopus, Web of Science Emerging Sources Citation Index (WoS ESCI), Russian Science Citation Index на платформе Web of Science (RSCI), EBSCO.

Журнал распространяется как в печатном виде, так и в электронной форме.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Зараменских Евгений Петрович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Бабкин Эдуард Александрович

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

Авдошин Сергей Михайлович

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Акопов Андраник Сумбатович

Центральный экономико-математический институт РАН,
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

Баранов Александр Павлович

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

Барахнин Владимир Борисович

Федеральный исследовательский центр информационных
и вычислительных технологий, Новосибирск, Россия

Беккер Йорг

Университет Мюнстера, Мюнстер, Германия

Вестнер Маркус

Технический университет прикладных наук,
Регенсбург, Германия

Гаврилова Татьяна Альбертовна

Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

Глотен Эрве

Тулонский университет, Ла-Гард, Франция

Гурвич Владимир Александрович

Ратгерский университет (Университет Нью-Джерси),
Ратгерс, США

Джейкобс Лоренц

Университет Цюриха, Цюрих, Швейцария

Дискин Иосиф Евгеньевич

Всероссийский центр изучения общественного мнения,
Москва, Россия

Зандкуль Курт

Университет Ростока, Росток, Германия

Иванников Александр Дмитриевич

Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН,
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

Мальцева Светлана Валентиновна

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

Мейор Питер

Комиссия ООН по науке и технологиям, Женева,
Швейцария

Миркин Борис Григорьевич

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, 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

Самуйлов Константин Евгеньевич

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Стоянова Ольга Владимировна

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Санкт-Петербург, Россия

Триболе Жозе

Университет Лиссабона, Лиссабон, Португалия

Ульянов Михаил Васильевич

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

Ускенбаева Раиса Кабиевна

Казахский национальный исследовательский технический
университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Цуканова Ольга Анатольевна

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

Чхартишвили Александр Гедеванович

Институт проблем управления им В.А. Трапезникова РАН,
Москва, 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

A.S. Akopov

Modeling and optimization of strategies for making individual decisions in multi-agent socio-economic systems with the use of machine learning..... 7

N.V. Dneprovskaya, I.V. Shevtsova

A knowledge management system in the strategic development of universities 20

M.G. Matveev, N.A. Aleynikova, M.D. Titova

Decision support technology for a seller on a marketplace in a competitive environment..... 41

A.I. Shaidullin

The problem of interpretation, differentiation and classification of digital products..... 55

I.E. Nikolaev

An intelligent method for generating a list of job profile requirements based on neural network language models using ESCO taxonomy and online job corpus..... 71

F. Wang

The present and future of the digital transformation of real estate: A systematic review of smart real estate 85

Vol. 17 No. 2 – 2023



Publisher:
National Research University
Higher School of Economics

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

E. Zaramenskikh

Deputy Editor-in-Chief

E. Babkin

Computer Making-up

O. Bogdanovich

Cover design

O. Bogdanovich

(using an image generated by the Midjourney neural network)

Website Administration

I. Khrustaleva

Address:

26-28, build. 4, Shablovka Street
Moscow 119049, Russia

Tel./fax: +7 (495) 772-9590 *28509

<http://bijournal.hse.ru>

E-mail: bijournal@hse.ru

Circulation:

English version – 100 copies,
Russian version – 100 copies,
online versions in English and Russian –
open access

Printed in HSE Printing House
44, build. 2, Izmaylovskoye Shosse,
Moscow, Russia

© 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 HSE Graduate School of Business. The journal is issued quarterly, in English and Russian.

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 following areas: modeling of social and economic systems, digital transformation of business, innovation management, information systems and technologies in business, data analysis and business intelligence systems, mathematical methods and algorithms of business informatics, business processes modeling and analysis, decision support in management.

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 Scopus, Web of Science Emerging Sources Citation Index (WoS ESCI), Russian Science Citation Index on the Web of Science platform (RSCI), EBSCO.

The journal is distributed both in printed and electronic forms.

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF

Evgeny P. Zaramenskikh

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Eduard A. Babkin

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

EDITORIAL BOARD

Sergey M. Avdoshin

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Andranik S. Akopov

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

Fuad T. Aleskerov

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Alexander P. Afanasyev

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

Anton A. Afanasyev

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

Vladimir B. Barakhnin

Federal Research Center of Information and Computational
Technologies, Novosibirsk, Russia

Alexander P. Baranov

Federal Tax Service, Moscow, Russia

Jörg Becker

University of Munster, Munster, Germany

Alexander G. Chkhartishvili

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

Tatiana A. Gavrilova

Saint-Petersburg University, St. Petersburg, Russia

Hervé Glotin

University of Toulon, La Garde, France

Vladimir A. Gurvich

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

Laurence Jacobs

University of Zurich, Zurich, Switzerland

Iosif E. Diskin

Russian Public Opinion Research Center, Moscow, Russia

Dmitry V. Isaev

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Alexander D. Ivannikov

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

Valery A. Kalyagin

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

Tatiana K. Kravchenko

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Sergei O. Kuznetsov

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Kwei-Jay Lin

Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan

Mikhail I. Lugachev

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Svetlana V. Maltseva

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Peter Major

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

Boris G. Mirkin

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Dmitry M. Nazarov

Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

Dmitry E. Palchunov

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Panagote (Panos) M. Pardalos

University of Florida, Gainesville, USA

Óscar Pastor

Polytechnic University of Valencia, Valencia, Spain

Joachim Posegga

University of Passau, Passau, Germany

Konstantin E. Samouylov

Peoples' Friendship University, Moscow, Russia

Kurt Sandkuhl

University of Rostock, Rostock, Germany

Olga Stoyanova

National Research University Higher School of Economics,
Saint Petersburg, Russia

Christine Strauss

University of Vienna, Vienna, Austria

José M. Tribolet

Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

Olga A. Tsukanova

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

Mikhail V. Ulyanov

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

Raissa K. Uskenbayeva

Kazakh National Technical University after K.I. Satpaev,
Almaty, Kazakhstan

Markus Westner

Technical University for Applied Sciences (OTH Regensburg),
Regensburg, Germany

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.7.19

Моделирование и оптимизация стратегий принятия индивидуальных решений в многоагентных социально-экономических системах с использованием машинного обучения

А.С. Акопов 

E-mail: akopovas@umail.ru

Центральный экономико-математический институт, Российская академия наук
Адрес: Россия, 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47

Аннотация

В статье представлен новый подход к моделированию и оптимизации стратегий принятия индивидуальных решений в многоагентных социально-экономических системах (МСЭС). В основе такого подхода – синтез методов агентного моделирования, машинного обучения и генетических оптимизационных алгоритмов. Разработана процедура синтеза и обучения искусственных нейронных сетей (ИНС), имитирующих функциональность МСЭС и обеспечивающих аппроксимацию значений ее целевых характеристик. Особенностью данной двухшаговой процедуры является комбинированное использование методов роевой оптимизации (для определения оптимальных значений гиперпараметров) и алгоритма машинного обучения Adam (для вычисления весовых коэффициентов ИНС). Применение подобных, основанных на ИНС суррогатных моделей в параллельных многоагентных генетических алгоритмах вещественного кодирования (МА-RCGA) позволяеткратно повысить временную эффективность процедуры эволюционного поиска оптимальных решений. Проведены численные эксперименты, подтверждающие существенное улучшение производительности МА-RCGA, периодически использующего суррогатную ИНС-модель для аппроксимации значений целевой и фитнес-функции. Спроектирован программный комплекс, который включает оригинальную (эталонную) агентную модель торговых взаимодействий, суррогатную ИНС-модель и генетический алгоритм МА-RCGA. При этом используются программные библиотеки FLAME GPU, OpenNN (Open Neural Networks Library) и др., методы агентного моделирования и машинного обучения.

Разработанная система может быть использована менеджерами, отвечающими, в частности, за формирование оптимальной стратегии торговых взаимодействий.

Ключевые слова: многоагентные социально-экономические системы, метод роя частиц, моделирование случайных продаж, машинное обучение, искусственные нейронные сети, генетические оптимизационные алгоритмы

Цитирование: Акопов А.С. Моделирование и оптимизация стратегий принятия индивидуальных решений в многоагентных социально-экономических системах с использованием машинного обучения // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. № 2. С. 7–19. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.7.19

Введение

В настоящее время возрастает интерес к исследованию поведения многоагентных социально-экономических систем (МСЭС) и разработки систем поддержки принятия решений (СППР), использующих методы агент-ориентированного моделирования (АОМ), машинного обучения и эвристические (в частности, генетические) оптимизационные алгоритмы.

Большинство современных СППР можно разделить на два укрупненных класса: системы рационального управления на основе имитационного, в том числе, оптимизационного моделирования и экспертные системы поддержки принятия решений.

Примерами СППР первого типа являются: программный комплекс, предназначенный для управления инвестиционной деятельностью крупной нефтяной компании [1], система поддержки принятия решений для эколого-экономического планирования [2], интеллектуальные транспортные системы [3–5] и др.

К наиболее известным СППР второго типа, можно отнести экспертные системы для принятия стратегических решений, использующие метод анализа иерархий [6, 7], системы, предназначенные для приоритизации решений при управлении ИТ-проектами [8], системы, поддерживающие возможность выбора наилучших альтернатив при плохо структурированных исходных данных [9] и др.

В данной работе предлагается система управления МСЭС первого типа, предназначенная, в основном, для формирования оптимальных стратегий принятия индивидуальных решений при множественных торговых взаимодействиях (заключении бартерных и монетарных сделок). Выполнена программная реализация модифицированной модели случайных продаж [10] с использованием методов АОМ [11, 12], ма-

шинного обучения [13, 14], генетических [1, 3, 15] и роевых оптимизационных алгоритмов [16].

Актуальность разработки такой интеллектуальной системы обусловлена, в основном, высокой вычислительной сложностью определения оптимальных моментов времени для заключения бартерных и монетарных сделок в торговых системах со случайными взаимодействиями экономических агентов. В частности, в условиях, когда экономические агенты максимизируют полезность будущего потребления за счёт рационального управления собственными состояниями, разрешающими либо блокирующими парные торговые взаимодействия. Традиционный подход к поиску оптимальных стратегий в подобных многоагентных системах основан на решении задач оптимального управления с использованием классических методов вариационного исчисления и динамического программирования [17]. Однако, из-за высокой размерности моделей подобных МСЭС (т.е. большого числа взаимодействующих агентов) кратно увеличивается вычислительная сложность поиска индивидуальных решений. Поэтому, актуальна разработка программного комплекса, использующего методы машинного обучения и эвристические алгоритмы для приближенного решения задач оптимального управления стратегией торговых взаимодействий в МСЭС.

Цель данной работы состоит в разработке нового подхода к моделированию и формированию стратегий принятия индивидуальных решений в МСЭС с использованием методов машинного обучения, роевых и генетических оптимизационных алгоритмов. Общая методология такого подхода состоит в создании имитационной модели МСЭС, выполнении экспериментов с моделью (класса Монте-Карло) для формирования обучающей выборки, синтезу искусственной нейронной сети

(ИНС) с оптимальной топологией и ее встраиванию в генетический оптимизационный алгоритм для использования в качестве суррогатной модели, существенно ускоряющей процедуру эволюционного поиска решений для всего ансамбля взаимодействующих экономических агентов. При этом, эффективность разработанного подхода и спроектированного программного комплекса исследуется на примере задачи однокритериальной оптимизации характеристик предложенной агентной модели торговых взаимодействий, реализованной использованием системы агентного моделирования FLAME GPU [18] и библиотеки машинного обучения OpenNN [19].

1. Агентная модель торговых взаимодействий

Существенным отличием предложенной агентной модели торговых взаимодействий от ранее известных, является принятие во внимание начального пространственного расположения агентов-продавцов и агентов-покупателей, задаваемого с использованием различных конфигураций, примеры которых представлены на рис. 1.

В модели, в каждый момент времени между каждой произвольной парой агентов, взаимно расположенных в границах зоны торгового взаимодействия (рис. 1), может осуществляется бартерная или монетарная сделка (т.е. обмен товара на товар, либо обмен товара на его денежный эквивалент), если данные агенты, во-первых, находятся в состоянии готовности к подобным сделкам, во-вторых облада-

ют нужным товаром, либо товаром близким к целевому по своим потребительским характеристикам.

Пусть,

$T = \{t_0, t_1, \dots, |T|\}$ – набор моментов времени (по дням), $|T|$ – общее число моментов времени;

$t_0 \in T, t_{|T|} \in T$ – начальный и конечный моменты модели;

$I = \{i_1, i_2, \dots, i_{|I|}\}$ – набор индексов агентов, где $|I|$ – общее число агентов, $\tilde{i} \in I$ – индексы продавцов, $\hat{i} \in I$ – индексы покупателей;

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_{|P|}\}$ – набор индексов продуктов, $|P|$ – общее количество продуктов, $p_i(t_k) \in P, i \in I, t_k \in T$ – индекс продукта, имеющегося у i -ого агента, $d_i(t_k) \in P, i \in I, t_k \in T$ – индекс продукта, который необходим i -ому агенту;

$\{b_i(t_k), m_i(t_k)\} \in \{0, 1\}, i \in I$ – состояние готовности агента к заключению бартерных и монетарных сделок, соответственно, в момент t_{k-1} ($t_{k-1} \in T$): 0 – сделки запрещены, 1 – сделки разрешены.

Тогда, расстояние между продуктом, имеющимся у \tilde{i} -го агента продавца ($\tilde{i} \in I$) и продуктом, имеющимся у \hat{i} -ого агента покупателя ($\hat{i} \in I$), измеренного по длине дуги числовой окружности с равномерно распределенными числами 1, 2, ..., $|P|$ в момент t_{k-1} ($t_{k-1} \in T$):

$$\delta_{\tilde{i}\hat{i}}(t_k) = \frac{1}{|P|-1} \min \left\{ |p_{\tilde{i}}(t_k) - d_{\hat{i}}(t_k)|, |P| - |p_{\tilde{i}}(t_k) - d_{\hat{i}}(t_k)| \right\}. \quad (1)$$

При этом, оценка уровня соответствия продукта агента-продавца интересам агента-покупателя может быть задана как:

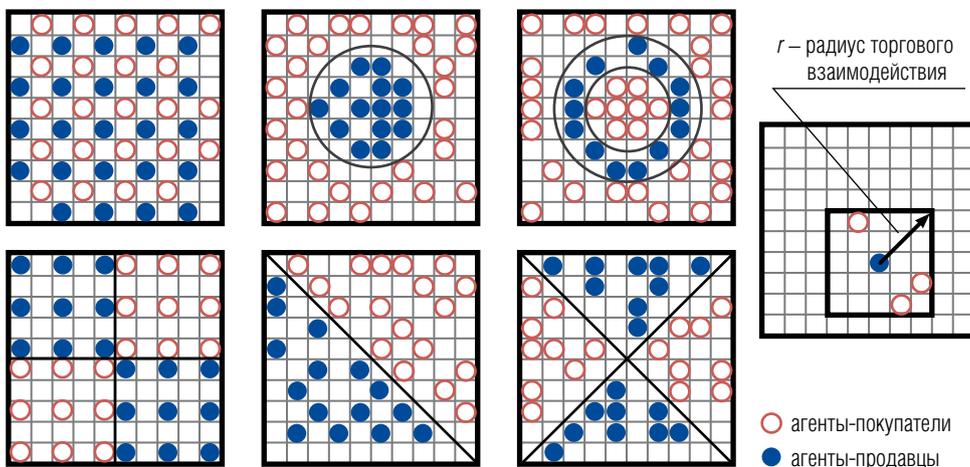


Рис. 1. Возможные конфигурации начального распределения агентов в пространстве МСЭС.

$$\gamma_{ii}(t_k) = \begin{cases} 1, & \text{если } \delta_{ii}(t_k) \leq \varpi, \\ 0, & \text{если } \delta_{ii}(t_k) > \varpi, \end{cases} \quad (2)$$

где $\varpi \geq 0$ — коэффициент порогового соответствия продукта агента-продавца интересам агента-покупателя (коэффициент «контрактности»).

При этом, состояния готовности i -ого агента ($i \in I$) к заключению бартерных и монетарных сделок могут быть сформированы для каждого момента времени t_k ($t_k \in T$), в частности, с помощью логнормальных (*первый способ*) либо бета-распределений (*второй способ*) с заданными характеристиками:

$$b_i(t_k) = \begin{cases} \left\lfloor \frac{\ln N(\mu_b, \sigma_b^2)}{\ln N(\mu_b, \sigma_b^2)} \right\rfloor, & \text{если выполняется I,} \\ 0, & \text{если выполняется II,} \\ \left\lfloor \text{Beta}(\alpha_b, \beta_b) \right\rfloor, & \text{если выполняется III,} \end{cases} \quad (3)$$

$$m_i(t_k) = \begin{cases} \left\lfloor \frac{\ln N(\mu_m, \sigma_m^2)}{\ln N(\mu_m, \sigma_m^2)} \right\rfloor, & \text{если выполняется IV,} \\ 0, & \text{если выполняется V,} \\ \left\lfloor \text{Beta}(\alpha_m, \beta_m) \right\rfloor, & \text{если выполняется VI,} \end{cases} \quad (4)$$

где

- I. при условии использования логнормального распределения для формирования состояний готовности агентов к **бартерным сделкам** и $\ln N(\mu_b, \sigma_b^2) > 0$,
- II. при условии использования логнормального распределения для формирования состояний готовности агентов к **бартерным сделкам** и $\ln N(\mu_b, \sigma_b^2) = 0$,
- III. при условии использования бета-распределения для формирования состояний готовности агентов к **бартерным сделкам**,
- IV. при условии использования логнормального распределения для формирования состояний готовности агентов к **монетарным сделкам** и $\ln N(\mu_m, \sigma_m^2) > 0$,
- V. при условии использования логнормального распределения для формирования состояний готовности агентов к **монетарным сделкам** и $\ln N(\mu_m, \sigma_m^2) = 0$,
- VI. при условии использования бета-распределения для формирования состояний готовности агентов к **монетарным сделкам**.

Здесь

$\ln N(\mu_b, \sigma_b^2)$, $\ln N(\mu_m, \sigma_m^2)$ — случайные величины, имеющие логнормальные распределения с параме-

трами μ_b, σ_b^2 и μ_m, σ_m^2 , где $\mu_b, \mu_m \in [-1, 1]$, $\sigma_b^2, \sigma_m^2 \in (0, 1]$; $\text{Beta}(\alpha_b, \beta_b)$, $\text{Beta}(\alpha_m, \beta_m)$ — случайные величины, имеющие бета-распределения с параметрами α_b, β_b и α_m, β_m , соответственно.

Значение функции полезности i -ого агента ($i \in \{\tilde{i} : \hat{i} \in I, \gamma_{ii}(t_k) = 1\}$) в момент t_k ($t_k \in T$) вычисляется как:

$$u_i(t_k) = \gamma_{ii}(t_k) \left((\delta_{ii}(t_k) + 1)^{-\nu} - \lambda r \right), \quad (5)$$

где $r \in [1, \bar{r}]$ — радиус торгового взаимодействия, т.е. диапазон ячеек дискретного пространства размещения агентов, считающихся соседними, \bar{r} — максимально допустимое расстояние между взаимодействующими агентами;

$\{\nu, \lambda\}$ — коэффициенты, определяющие влияние издержек расстояния между целевым и приобретаем продуктом, а также между покупателем и продавцом, соответственно.

Основными управляющими параметрами такой МСЭС являются: конфигурация начального расположения агентов в пространстве, радиус торгового взаимодействия, коэффициент «контрактности», параметры логнормальных и бета-распределений, используемых для формирования состояний готовности агентов к заключению сделок, вероятность перемещения агентов в пространстве и др.

Каждый агент-потребитель, максимизирует собственную функцию полезности по набору управляющих параметров при ограничениях, имеющих ясный физический и экономический смысл. При этом, интегральным целевым функционалом МСЭС можно считать среднюю (по популяции агентов) полезность будущего потребления:

$$U = \frac{1}{|I|} \sum_{i=1}^{|I|} \sum_{t=1}^{|T|} u_i(t_k). \quad (6)$$

Программная реализация модели (1)–(6) выполнена в среде FLAME GPU с использованием C++ и архитектуры графических процессоров GPU (graphics processing unit), позволяющей, в частности, распараллелить логику поведения агентов посредством специальных функций типа FLAMEGPU_AGENT_FUNCTION. В *таблице 1* представлены ключевые функции, разработанные для рассматриваемой модели со своими входными и выходными параметрами.

Таблица 1.

**Основные функции и процедуры
стохастической модели обмена товарами**

Название функции	Описание	Входные параметры	Выходные параметры
FLAMEGPU_INIT_FUNCTION (init_function)	Инициализация параметров модели. Создание популяции агентов и их размещение в дискретном пространстве.	Нет	Нет
FLAMEGPU_EXIT_CONDITION (exit_condition)	Расчёт целевого функционала и проверка критерия останова.	Нет	Нет
FLAMEGPU_AGENT_FUNCTION (all_agents, flamegpu::MessageNone, flamegpu::MessageArray2D)	Отправка данных о каждом агенте.	Нет	Координаты, тип агента, состояние и др.
FLAMEGPU_AGENT_FUNCTION (all_products, flamegpu::MessageNone, flamegpu::MessageArray2D)	Отправка данных о продукте каждого агента.	Нет	Индекс имеющегося продукта, индекс целевого продукта.
FLAMEGPU_AGENT_FUNCTION (seeking_and_getting_product, flamegpu::MessageArray2D, flamegpu::MessageArray2D)	Поиск и приобретение целевого продукта посредством обмена или за деньги. Поиск ближайшего продавца с желаемым продуктом. Реализация монетарной или бартерной сделки. Пересчёт значения индивидуальной полезности. Отправка данных о приобретаемом продукте и денег в случае монетарной сделки.	Индекс имеющегося продукта, индекс целевого продукта.	Индекс приобретаемого продукта и деньги за продукт (если покупка за деньги).
FLAMEGPU_AGENT_FUNCTION (getting_product_or_money, flamegpu::MessageArray2D, flamegpu::MessageNone)	Получение продукта (при бартере) или денег от покупателя (при монетарной сделке). Пересчёт значения индивидуальной полезности. Завершение торговой операции.	Индекс приобретаемого продукта и деньги за продукт (если покупка за деньги).	Нет
FLAMEGPU_AGENT_FUNCTION (update_agent_state, flamegpu::MessageNone, flamegpu::MessageNone)	Обновление состояния каждого агента и производство нового продукта, если на предыдущем шаге была торговая сделка.	Нет	Нет
FLAMEGPU_AGENT_FUNCTION (update_cell, flamegpu::MessageArray2D, flamegpu::MessageNone)	Обновление состояния каждой ячейки дискретного пространства. Проверка доступности ячейки для занятия агентами.	Координаты, тип агента, состояние и др.	Нет
FLAMEGPU_AGENT_FUNCTION (looking_for_resource, flamegpu::MessageArray2D, flamegpu::MessageArray2D)	Поиск агента, который может быть размещен в данной ячейке с заданной вероятностью.	Координаты, тип агента, состояние и др.	Координаты целевой ячейки. Данные о перемещаемом агенте.
FLAMEGPU_AGENT_FUNCTION (moving_transaction, flamegpu::MessageArray2D, flamegpu::MessageNone)	Случайное перемещение агентов в дискретном пространстве в целевую ячейку.	Координаты целевой ячейки. Данные о перемещаемом агенте.	Нет

2. Процедура синтеза искусственной нейронной сети

В качестве основной конфигурации ИНС для задачи аппроксимации целевого функционала изучаемой МСЭС (агентной модели торговых взаимо-

действий) была выбрана модель MLP (Multilayered perceptron – многослойный перцептрон).

Наиболее важными гиперпараметрами проектируемой ИНС, существенно влияющими на качество аппроксимации являются следующие:

$\mu > 0$ – начальная скорость обучения;

$L = \{l_1, l_2, \dots, l_{|L|}\}$ – количество скрытых слоев в MLP; $n_l > 0, l \in L$ – количество нейронов в каждом из имеющихся скрытых слоев, $n_l \in N$, где N – множество всех нейронов;

$F_l \in \{TANH, ELU, HSig\}, l \in L$ – активационная функция используемая для всех нейронов l -го скрытого слоя (гиперболический тангенс, экспоненциально линейная, «жесткий» сигмоид);

$w_{n_l}, n_l \in N, l \in L$ – весовые коэффициенты n_l -х нейронов l -го скрытого слоя.

При этом, основным критерием качества ИНС в рассматриваемой системе, является ошибка обучения (функция потерь), которая должна быть минимизирована по набору гиперпараметров и весов:

$$\min_{(\bar{r}, |L|, n_l, F_l)} E, n_l \in N, l \in L, \quad (7)$$

где

$$E = \frac{1}{|M|} \sum_{m=1}^{|M|} \left(\tilde{U}_{qm}(\mu, |L|, n_l, F_l, w_{n_l}, X_m) - \hat{U}_m(X_m) \right)^2, \quad (8)$$

где

$M = \{m_1, m_2, \dots, |M|\}$ – множество данных обучающей выборки, где $|M|$ – размер обучающей выборки;

$Q = \{q_1, q_2, \dots, |Q|\}$ – набор итераций алгоритма обучения ИНС, $|Q|$ – все итерации алгоритма машинного обучения;

$\tilde{U}_{qm}, q \in Q, m \in M$ – аппроксимированные значения целевой функции (функции полезности будущего потребления) на выходе ИНС, вычисленные для m -ой выборки данных на q -ой итерации обучения;

$X_m = \{x_{1m}, x_{2m}, \dots, x_{|X_m|m}\}, m \in M$ – набор значений независимых переменных m -ой обучающей выборки (входной слой ИНС);

$\hat{U}_m(X_m), m \in M$ – известные (фактические) значения целевой функции, вычисленные с помощью ранее разработанной агентной модели при заданных значениях входных параметров X_m -ого набора с использованием метода класса Монте-Карло [20, 21].

На рисунке 2 показана блок-схема разработанной двухшаговой процедуры синтеза ИНС, с целью ее дальнейшего использования в качестве суррогатной модели при проведении оптимизационных экспериментов.

На рисунке 2 используются следующие условные обозначения:

$T = \{t_0, t_1, \dots, |T|\}$ – набор итераций роевого алгоритма (PSO), $|T|$ – общее число итераций роевого алгоритма; $t_0 \in T, t_{|T|} \in T$ – начальные и конечные итерации роевого алгоритма;

$Q = \{q_0, q_1, \dots, |Q|\}$ – набор итераций обучающего алгоритма (Adam), $|Q|$ – общее число итераций обучающего алгоритма; $q_0 \in Q, q_{|Q|} \in Q$ – начальные и конечные итерации обучающего алгоритма.

На первом шаге, при относительном малом общем количестве итераций обучающего алгоритма ($|Q| = 1000$), осуществляется оптимизация гиперпараметров ИНС с использованием роевого алгоритма (PSO), агрегированного по целевому функционалу с алгоритмом машинного обучения Adam.

На втором шаге, после того как определены наилучшие значения гиперпараметров ИНС, осуществляется глубокое обучение сформированной ИНС при существенно большем числе итераций обучающего алгоритма – $|Q| = 10000$.

Роевой алгоритм (PSO) [16] обеспечивает перебор гиперпараметров ИНС в направлении улучшения значения целевого функционала, т.е. минимизации ошибки обучения ИНС, вычисляемой с помощью алгоритма машинного обучения (типа Adam [22]). Преимуществом роевого алгоритма является существенно большая высокая временная эффективность, например, в сравнении с классическими генетическими алгоритмами, также используемыми для настройки гиперпараметров ИНС.

В рамках разработанной процедуры, алгоритм PSO агрегирован по целевому функционалу (ошибкой обучения ИНС) с алгоритмом Adam (рис. 2). При использовании роевого алгоритма (PSO) вычисляется вектор скорости изменения значений искомым переменных (гиперпараметров ИНС), определяющий положение i -ых частиц ($i \in I$) в пространстве потенциальных решений в момент t_k ($t_k \in T, k = 1, 2, \dots, K$):

$$\mathbf{v}_i(t_k) = \theta \mathbf{v}_i(t_{k-1}) + c_1 h(0, 1) (\mathbf{x}_i^*(t_{k-1}) - \mathbf{x}_i(t_{k-1})) + c_2 e(0, 1) (\mathbf{x}^g(t_{k-1}) - \mathbf{x}_i(t_{k-1})), \quad (9)$$

$$\mathbf{x}_i(t_k) = \begin{cases} \mathbf{x}_i(t_{k-1}) + \mathbf{v}_i(t_{k-1}), \\ \text{если } \mathbf{x}_i(t_{k-1}) + \mathbf{v}_i(t_{k-1}) \in [\underline{\mathbf{x}}, \bar{\mathbf{x}}], \\ \mathbf{x}_i(t_{k-1}), \\ \text{если } \mathbf{x}_i(t_{k-1}) + \mathbf{v}_i(t_{k-1}) \notin [\underline{\mathbf{x}}, \bar{\mathbf{x}}], \end{cases} \quad (10)$$

где

$I = \{i_1, i_2, \dots, i_{|I|}\}$ – набор индексов частиц PSO, где $|I|$ – общее число частиц;

$\mathbf{x}_i^*(t_{k-1}), \mathbf{x}_i^g(t_{k-1})$ – наилучшие потенциальные значения гиперпараметров ИНС, полученные i -ой частицей PSO за период поиска и всеми частицами в момент t_k ($t_{k-1} \in T$);

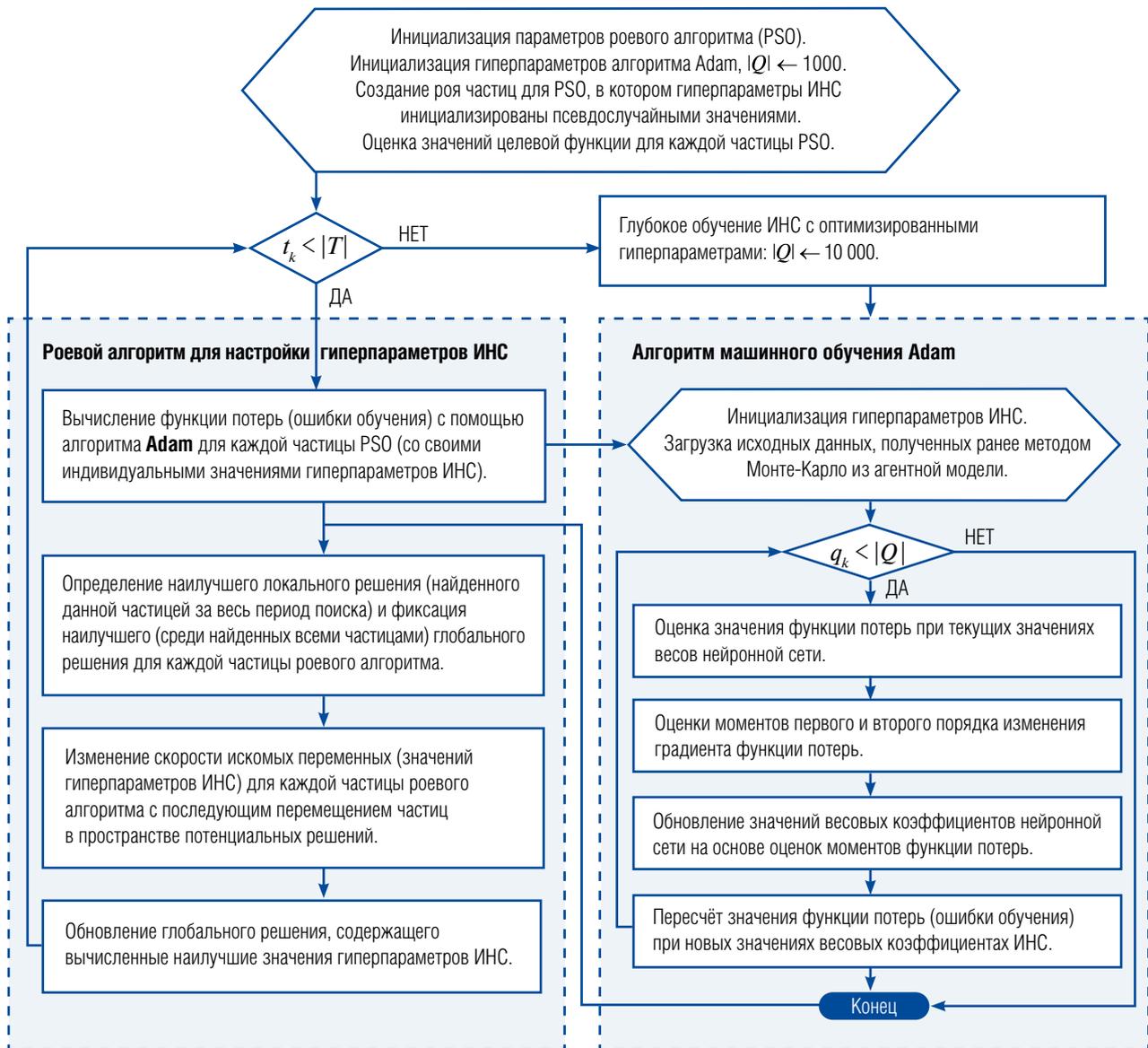


Рис. 2. Процедура синтеза искусственной нейронной сети с использованием метода роя частиц и алгоритма Adam.

$h(0, 1), e(0, 1)$ – случайные величины, равномерно распределенные на отрезке $[0, 1]$;

θ, c_1, c_2 – константы, значения которых, могут быть заданы в следующих диапазонах: $\theta \in [0, 4; 1, 4]$, $c_1 \in [1, 5; 2]$, $c_2 \in [2; 2, 5]$.

Алгоритм машинного обучения Adam [22], обеспечивает вычисление индивидуальных скоростей обучения для разных параметров ИНС (рис. 2), используя оценки первого и второго моментов градиента, чтобы адаптировать скорость обучения для каждого веса нейронной сети.

В алгоритме Adam используется следующее правило обновления значений весовых коэффициентов нейронной сети:

$$w_q = w_{q-1} - \frac{\eta}{\sqrt{\frac{\tilde{\beta}_2 v_{q-1} + (1 - \tilde{\beta}_1)(\nabla_w E_q)^2}{1 - \tilde{\beta}_2} + \epsilon}} \times \frac{\tilde{\beta}_1 m_{q-1} + (1 - \tilde{\beta}_1) \nabla_w E_q}{1 - \tilde{\beta}_1}, \quad (11)$$

где $\nabla_w E_q$ – градиент функции потерь на итерации q ($q \in Q$);

w – весовые коэффициенты нейронной сети;

m_{q-1}, v_{q-1} – оценки моментов первого и второго порядка изменения градиента функции потерь на итерации q ($q \in Q$);

$\tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2$ – гиперпараметры алгоритма Adam (как правило, задаваемые на уровне 0,9 и 0,99, соответственно);

ε – достаточно малое число.

Предложенная процедура синтеза ИНС с использованием метода роя частиц и алгоритма машинного обучения Adam реализована с использованием C++ и OpenNN. Основанием выбора OpenNN в качестве платформы для машинного обучения является обеспечение достаточно высокого быстродействия, сопоставимого с такими популярными программными библиотеками как TensorFlow и PyTorch при более удобной и простой среде разработки [19].

В результате выполнения данной процедуры обеспечивается автоматическое формирование программных модулей синтезированной ИНС на C++ и Python, которые могут быть использованы в качестве суррогатных моделей в параллельных генетических алгоритмах вещественного кодирования (RCGA) [2, 3, 23], что позволяет принципиально повысить временную эффективность процедуры поиска оптимальных решений для многоагентных социально-экономических систем.

Архитектура ИНС, сформированная с использованием данных, полученных с помощью предложенной агентной модели торговых взаимодействий, состоит из входного слоя, одного скрытого слоя и выходного слоя. Первый слой обеспечивает распределение входных сигналов остальным нейронам. При этом, входными сигналами в данной ИНС являются масштабированные (нормированные) значения управляющих параметров агентной модели, в частности, следующие:

- ◆ конфигурация (числовой эквивалент) начального распределения агентов в МСЭС;
- ◆ параметры логнормального и бета-распределений, применяемых для формирования состояний готовности агентов к сделкам в различные моменты времени;
- ◆ радиус торгового взаимодействия;
- ◆ вероятность перемещения агентов в пространстве и др.

Промежуточный слой состоит из десяти нейронов, использующих в качестве функции активации гиперболический тангенс.

Выходной слой состоит из одного нейрона, обеспечивающего вычисление аппроксимированного значения целевой функции – средней полезности будущего потребления.

Далее, синтезированная ИНС была интегрирована по целевому функционалу с ранее предложенным параллельным многоагентным генетическим алгоритмом MA-RCGA [23], реализованным на платформе FLAME GPU 2 [18], что позволило существенно повысить временную эффективность процедуры эволюционного поиска при решении важной задачи МСЭС по максимизации функции средней полезности будущего потребления (6). Возможности применения суррогатных ИНС-моделей для повышения производительности эволюционных алгоритмов подробно описаны в работе [14].

3. Результаты численных и оптимизационных экспериментов

На рисунке 3 представлен анализ чувствительности процессного времени и точности полученного решения (т.е. близости решения к известному оптимуму) в зависимости от частоты использования предложенной агентной модели МСЭС для расчета целевой и фитнес-функции вместо соответствующей суррогатной модели. Численные эксперименты были проведены с использованием локального суперкомпьютера ЦЭМИ РАН –

Процессное время поиска решения, сек.

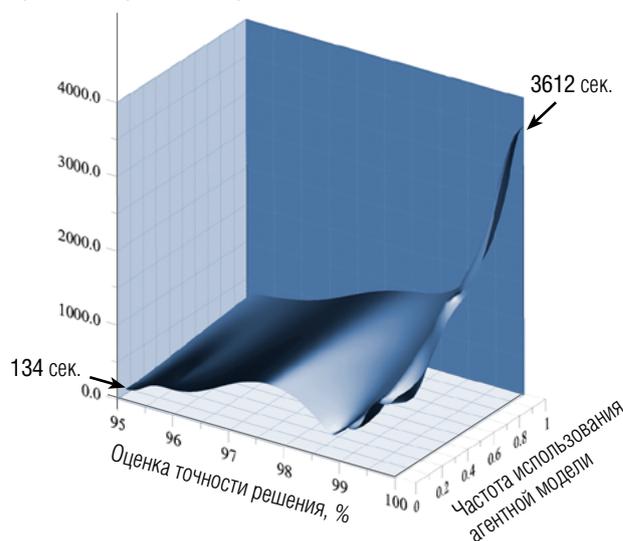


Рис. 3. Анализ чувствительности процессного времени и точности полученного решения в зависимости от частоты использования эталонной агентной модели.

DSWS PRO (2 x Intel Xeon Silver 4114, 1 x NVIDIA QUADRO RTX 600) при использовании 10 параллельных взаимодействующих агентов-процессов, реализующих процедуру эволюционного поиска. Подобная процедура основана известных эвристических операторах селекции, кроссинговера и мутации. При этом, для пересчёта значений целевой и фитнес-функции используется как оригинальная (эталонная) агентная модель торговых взаимодействий, так и соответствующая суррогатная ИНС-модель.

Из рисунка 3 следует, что даже в условиях превалирующего использования суррогатной ИНС-модели, обеспечивается достаточно высокий уровень точности полученного решения (более 95%). При этом, достигается существенно большая временная эффективность процедуры поиска решения в сравнении с подходом, при котором для пересчётов значений целевой и фитнес-функции в MA-RCGA применяется исключительно оригинальная (эталонная) агентная модель (рис. 3). Таким образом, точность оптимиза-

ционного алгоритма при периодическом использовании суррогатной модели непосредственно зависит от аппроксимационных характеристик соответствующей ИНС.

На рисунке 4 представлены результаты оптимизационных экспериментов по максимизации средней (для ансамбля агентов) полезности будущего потребления, выполненные с использованием ранее разработанного генетического алгоритма MA-RCGA [23] и сформированной суррогатной ИНС-модели. При этом, используются различные конфигурации начального расположения агентов в пространстве и различные способы формирования состояний готовности агентов к сделкам.

Из рисунка 4 следует два важных вывода. Во-первых, выбор начальной конфигурации размещения агентов в пространстве влияет на значение целевого функционала исследуемой МСЭС — средней полезности будущего потребления, а во-вторых, влияет на выбор рационального способа формирования состояний готовности к сделкам. В

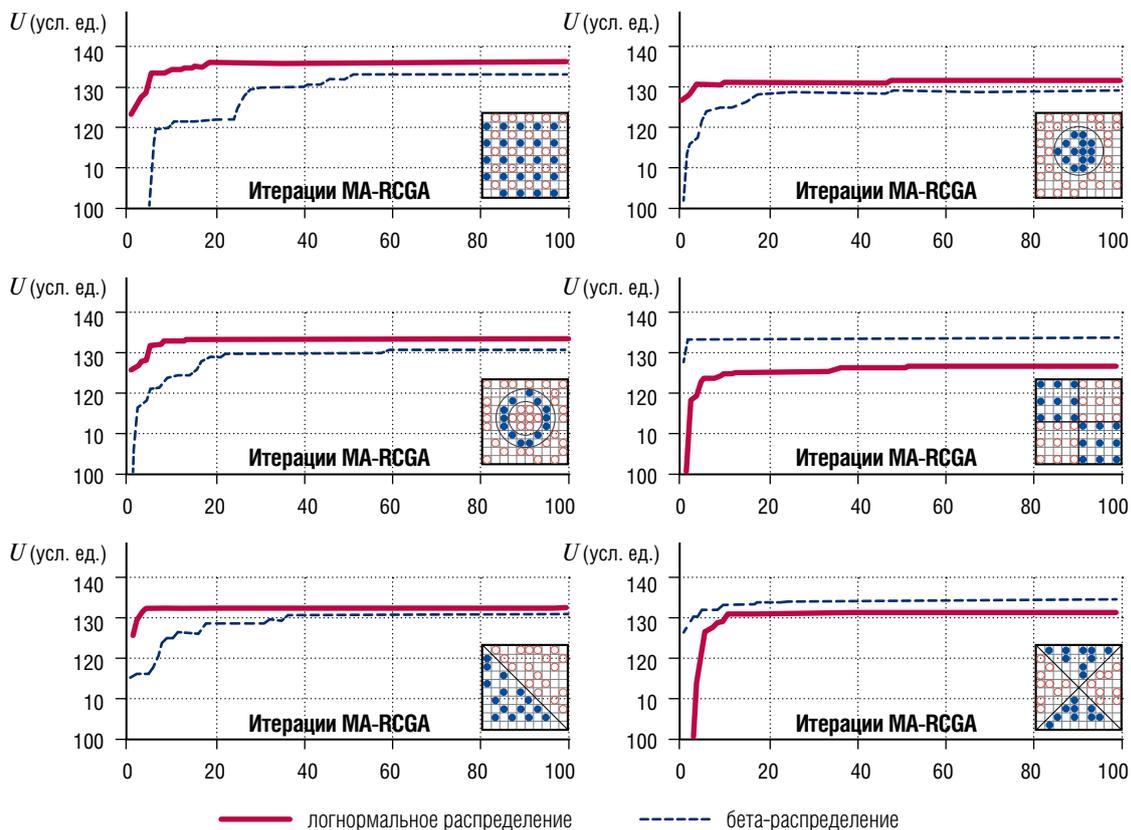


Рис. 4. Результаты оптимизационных экспериментов по максимизации средней полезности будущего потребления (U) при формировании состояний готовности к сделкам.

частности, при некоторых конфигурациях (рис. 4) использование бета-распределения оказывается более предпочтительным по сравнению с логнормальным распределением.

Заключение

В данной статье представлен новый подход к моделированию и оптимизации стратегий принятия индивидуальных решений в крупномасштабных многоагентных социально-экономических системах (МСЭС) на примере предложенной агентной модели торговых взаимодействий. Разработана новая процедуры синтеза и обучения искусственной нейронной сети (ИНС), основанная на комбинированном использовании методов роевой оптимизации (для определения оптимальных значений гиперпараметров) и алгоритма машинного обучения Adam (для вычисления весовых коэффициентов ИНС). Построенная ИНС, относящаяся к классу многослойного перцептрона (MLP), используется в качестве суррогатной модели, встраиваемой в ранее разработанный многоагентный генетический алгоритм (MA-RCGA) для аппроксимации

значений целевой и фитнес-функции – средней (по ансамблю агентов) полезности будущего потребления. В результате проведенных численных исследований показано, что даже в условиях преобладающего использования суррогатной ИНС-модели, обеспечивается достаточно высокий уровень точности полученного решения. При этом, выбор начальной конфигурации размещения агентов в пространстве влияет на значение целевого функционала и оптимальный способ формирования состояний готовности агентов к сделкам.

Дальнейшие исследования будут направлены на создание имитационных моделей крупномасштабных многоагентных социально-экономических систем, использующих методы машинного обучения и генетические оптимизационные алгоритмы для оптимального управления поведением ансамбля взаимодействующих экономических агентов. ■

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-21-00012).

Литература

1. Akopov A.S. Parallel genetic algorithm with fading selection // International Journal of Computer Applications in Technology. 2014. Vol. 49. No. 3–4. P. 325–331. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2014.062368>
2. Акопов А.С., Бекларян А.Л., Тхакур М., Верма Б.Д. Разработка параллельных генетических алгоритмов вещественного кодирования для систем поддержки принятия решений социально-экономического и экологического планирования // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 1. С. 33–44. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2019.1.33.44>
3. Akopov A.S., Beklaryan L.A., Thakur M. Improvement of maneuverability within a multiagent fuzzy transportation system with the use of parallel biobjective real-coded genetic algorithm // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2022. Vol. 23. No. 8. P. 12648–12664. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3115827>
4. Акопов А.С., Бекларян Л.А. Моделирование динамики дорожно-транспортных происшествий с участием беспилотных автомобилей в транспортной системе «умного города» // Бизнес-информатика. 2022. Т. 16. № 4. С. 19–35. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.4.19.35>
5. Khachatryan N.K., Akopov A.S. Model for organizing cargo transportation with an initial station of departure and a final station of cargo distribution // Business Informatics. No. 1 (39). P. 25–35. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2017.1.25.35>
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Перевод с английского Р. Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993.
7. Кравченко Т.К., Исаев Д.В. Системы поддержки принятия решений. М.: Юрайт, 2017.
8. Кравченко Т.К., Брускин С.Н., Исаев Д.В., Кузнецова Е.В. Приоритизация элементов бэклога ИТ-продукта с применением систем поддержки принятия решений // Информационные технологии. 2020. Т. 26. № 11. С. 631–640. <https://doi.org/10.17587/it.26.631-640>
9. Kravchenko T., Shevgunov T. Equivalent exchange method for decision-making in case of alternatives with incomparable attributes // Inventions. 2023. Vol. 8. No. 1. Article 12. <https://doi.org/10.3390/inventions8010012>
10. Поспелов И.Г. Модель случайных продаж // Математические заметки. 2018. Т. 103. № 3. С. 445–459. <https://doi.org/10.1134/S0001434618030112>
11. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Эпштейн Д. Агент-ориентированное моделирование для сложного мира. Часть 1 // Экономика и математические методы. 2022. Том 58. № 1. С. 5–26. <https://doi.org/10.31857/S042473880018970-6>
12. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Эпштейн Д. Агент-ориентированное моделирование для сложного мира. Часть 2 // Экономика и математические методы. 2022. Том 58. № 2. С. 7–21. <https://doi.org/10.31857/S042473880020009-8>

13. Tan R.K., Qian C., Wang M., Ye W. An efficient data generation method for ANN-based surrogate models // *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2022. Vol. 65. Article 90. <https://doi.org/10.1007/s00158-022-03180-6>
14. Díaz-Manríquez A., Toscano G., Barron-Zambrano J.H., Tello-Leal E. A review of surrogate assisted multiobjective evolutionary algorithms // *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2016. Vol. 2016. Article 9420460. <https://doi.org/10.1155/2016/9420460>
15. Herrera F., Lozano M., Verdegay J.L. Tackling real-coded genetic algorithms: Operators and tools for behavioural analysis // *Artificial Intelligence Review*. 1998. Vol. 12. No. 4. P. 265–319. <https://doi.org/10.1023/A:1006504901164>
16. Bonyadi M.R., Michalewicz Z. Particle swarm optimization for single objective continuous space problems: A review // *Evolutionary Computation*. 2017. Vol. 25. No. 1. P. 1–54.
17. Бекларян Л.А., Флёрова А.Ю., Жукова А.А. Методы оптимального управления: учебное пособие. МФТИ, 2018.
18. Richmond P., Chisholm R., Heywood P., Leach M., Kabiri C.M. FLAME GPU. Zenodo, 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5428984>
19. Lopez R. Open NN: An open source neural networks C++ library [software]. 2014. [Электронный ресурс]: <http://www.cimne.com/flood> (дата обращения 10.05.2023).
20. Whitelam S., Selin V., Benlolo I., Casert C., Tamblyn I. Training neural networks using Metropolis Monte Carlo and an adaptive variant // *Machine Learning: Science and Technology*. 2022. Vol. 3. Article 045026. <https://doi.org/10.1088/2632-2153/aca6cd>
21. de Freitas J.F., Niranjani M., Gee A.H., Doucet A. Sequential Monte Carlo methods to train neural network models // *Neural Computation*. 2000. Vol. 12. No. 4. P. 955–93. <https://doi.org/10.1162/089976600300015664>
22. Kingma D.P., Ba J. Adam: A method for stochastic optimization // arXiv preprint. 2014. arXiv:1412.6980. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.6980>
23. Akopov A.S., Beklaryan L.A., Thakur M., Verma B.D. Parallel multi-agent real-coded genetic algorithm for large-scale black-box single-objective optimisation // *Knowledge-Based Systems*. 2019. Vol. 174. P. 103–122. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.03.003>

Об авторе

Акопов Андраник Сумбатович

доктор технических наук, профессор, профессор Российской Академии Наук;

главный научный сотрудник, лаборатория динамических моделей экономики и оптимизации, Центральный экономико-математический институт, Российская академия наук, 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47;

E-mail: akopovas@umail.ru

ORCID: 0000-0003-0627-3037

Modeling and optimization of strategies for making individual decisions in multi-agent socio-economic systems with the use of machine learning

Andranik S. Akopov

E-mail: akopovas@umail.ru

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences

Address: 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia

Abstract

This article presents a new approach to modeling and optimizing individual decision-making strategies in multi-agent socio-economic systems (MSES). This approach is based on the synthesis of agent-based modeling methods, machine learning and genetic optimization algorithms. A procedure for the synthesis and training of artificial neural networks (ANNs) that simulate the functionality of MSES and provide an approximation of the values of its objective characteristics has been developed. The feature of the two-step procedure is the combined use of particle swarm optimization methods (to determine the optimal values of hyperparameters) and the Adam machine learning algorithm (to compute weight coefficients of the ANN). The use of such ANN-based surrogate models in parallel multi-agent real-coded genetic algorithms (MA-RCGA) makes it possible to raise substantially the time-efficiency of the evolutionary search for optimal solutions. We have conducted numerical experiments that confirm a significant improvement in the performance of MA-RCGA, which periodically uses the ANN-based surrogate-model to approximate the values of the objective and fitness functions. A software framework has been designed that consists of the original (reference) agent-based model of trade interactions, the ANN-based surrogate model and the MA-RCGA genetic algorithm. At the same time, the software libraries FLAME GPU, OpenNN (Open Neural Networks Library), etc., agent-based modeling and machine learning methods are used. The system we developed can be used by responsible managers.

Keywords: multi-agent socio-economic systems, particle swarm optimization, modeling random sales, machine learning, artificial neural networks, genetic optimization algorithms

Citation: Akopov A.S. (2023) Modeling and optimization of strategies for making individual decisions in multi-agent socio-economic systems with the use of machine learning. *Business Informatics*, vol. 17, no. 2, pp. 7–19. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.7.19

References

1. Akopov A.S. (2014) Parallel genetic algorithm with fading selection. *International Journal of Computer Applications in Technology*, vol. 49, nos. 3–4, pp. 325–331. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2014.062368>
2. Akopov A.S., Beklaryan A.L., Thakur M., Verma B.D. (2019) Developing parallel real-coded genetic algorithms for decision-making systems of socio-ecological and economic planning. *Business Informatics*, vol. 13, no. 1, pp. 33–44. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2019.1.33.44>
3. Akopov A.S., Beklaryan L.A., Thakur M. (2022) Improvement of maneuverability within a multiagent fuzzy transportation system with the use of parallel biobjective real-coded genetic algorithm. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 8, pp. 12648–12664. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3115827>
4. Akopov A.S., Beklaryan L.A. (2022) Simulation of rates of traffic accidents involving unmanned ground vehicles within a transportation system for the ‘smart city’. *Business Informatics*, vol. 16, no. 4, pp. 19–35. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.4.19.35>
5. Khachatryan N.K., Akopov A.S. (2017) Model for organizing cargo transportation with an initial station of departure and a final station of cargo distribution. *Business Informatics*, no. 1 (39), pp. 25–35. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2017.1.25.35>
6. Saaty T. (1993) *Decision making. The Analytic Hierarchy Process*. Translation from English by R.G. Vachnadze. Moscow: Radio and communication (in Russian).
7. Kravchenko T.K., Isaev D.V. (2017) *Decision support systems*. Moscow: Urait (in Russian).
8. Kravchenko T.K., Bruskin S.N., Isaev D.V., Kuznetsova E.V. (2020) Prioritization of IT product backlog items using decision support systems. *Informacionnye Tehnologii*, vol. 26, no. 11, pp. 631–640 (in Russian). <https://doi.org/10.17587/it.26.631-640>
9. Kravchenko T., Shevgunov T. (2023) Equivalent exchange method for decision-making in case of alternatives with incomparable attributes. *Inventions*, vol. 8, no. 1, article 12. <https://doi.org/10.3390/inventions8010012>
10. Pospelov I.G. (2018) A model of random sales. *Mathematical Notes*, vol. 103, pp. 453–465. <https://doi.org/10.1134/S0001434618030112>
11. Makarov V., Bakhtizin A., Epstein J. (2022) Agent-based modelling for a complex world. Part 1. *Economics and the Mathematical Methods*, vol. 58, no. 1, pp. 5–26 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S042473880018970-6>
12. Makarov V., Bakhtizin A., Epstein J. (2022) Agent-based modelling for a complex world. Part 2. *Economics and the Mathematical Methods*, vol. 58, no. 2, pp. 7–21 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S042473880020009-8>
13. Tan R.K., Qian C., Wang M., Ye W. (2022) An efficient data generation method for ANN-based surrogate models. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 65, article 90. <https://doi.org/10.1007/s00158-022-03180-6>

14. Díaz-Manríquez A., Toscano G., Barron-Zambrano J.H., Tello-Leal E. (2016) A review of surrogate assisted multiobjective evolutionary algorithms. *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2016, article 9420460. <https://doi.org/10.1155/2016/9420460>
15. Herrera F., Lozano M., Verdegay J.L. (1998) Tackling real-coded genetic algorithms: Operators and tools for behavioural analysis. *Artificial Intelligence Review*, vol. 12, no. 4, pp. 265–319. <https://doi.org/10.1023/A:1006504901164>
16. Bonyadi M.R., Michalewicz Z. (2017) Particle swarm optimization for single objective continuous space problems: a review. *Evolutionary Computation*, vol. 25, no. 1, pp. 1–54.
17. Beklaryan L.A., Flerova A.Y., Zhukova A.A. (2018) *Optimal control methods: textbook*. MIPT (in Russian).
18. Richmond P., Chisholm R., Heywood P., Leach M., Kabiri C.M. (2021) *FLAME GPU Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5428984>
19. Lopez R. (2014) *Open NN: An open source neural networks C++ library [software]*. Available at: <http://www.cimne.com/flood> (accessed 10 May 2023).
20. Whitelam S., Selin V., Benlolo I., Casert C., Tamblyn I. (2022) Training neural networks using Metropolis Monte Carlo and an adaptive variant. *Machine Learning: Science and Technology*, vol. 3, article 045026. <https://doi.org/10.1088/2632-2153/aca6cd>
21. de Freitas J.F., Niranjani M., Gee A.H., Doucet A. (2000) Sequential Monte Carlo methods to train neural network models. *Neural Computation*, vol. 12, no. 4, pp. 955–993. <https://doi.org/10.1162/089976600300015664>
22. Kingma D.P., Ba J. (2014) Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv preprint*, arXiv:1412.6980. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.6980>
23. Akopov A.S., Beklaryan L.A., Thakur M., Verma B.D. (2019) Parallel multi-agent real-coded genetic algorithm for large-scale black-box single-objective optimisation. *Knowledge-Based Systems*, vol. 174, pp. 103–122. <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2019.03.003>

About the author

Andranik S. Akopov

Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Russian Academy of Sciences;

Chief Researcher, Laboratory of Dynamic Models of Economy and Optimisation, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, 47, Nachimovky Prospect, Moscow 117418, Russia;

E-mail: akopovas@umail.ru

ORCID: 0000-0003-0627-3037

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.20.40

Система менеджмента знаний в стратегическом управлении университетом

Н.В. Днепровская^{a, c} 

E-mail: ndneprovskaya@hse.ru

И.В. Шевцова^b 

E-mail: Shevtsova@spa.msu.ru

^a Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Адрес: Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

^b Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Адрес: Россия, 119991, Москва, Ломоносовский проспект, д. 27, корпус 4

^c Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
Адрес: Россия, 125167, Москва, Ленинградский проспект, д. 49/2

Аннотация

Цель исследования состоит в концептуальном раскрытии применения системы менеджмента знаний (СМЗ) в качестве механизма стратегического развития университета. Международный опыт доказывает положительное влияние СМЗ на производительность образовательных организаций. На основе анализа зарубежного опыта применения СМЗ в высшем образовании (ВО) выработаны обобщенные теоретические положения и концептуальная схема СМЗ. Теоретические положения состоят в том, что 1) объектом воздействия менеджмента знаний (МЗ) являются действия сотрудников, а не сами знания; 2) особенности ВО ограничивают трансфер механизмов МЗ из бизнеса; 3) специфика каждого университета определяет структуру и содержание СМЗ для его развития. На базе модели цикла знаний Socialization—Externalization—Combination—Internalization (SECI) представлен процесс МЗ в ВО, дополненный на каждом этапе перечнем действий сотрудников и набором цифровых сервисов. Привносится новшество в модель SECI, в которой поток знаний движется не по спирали, а волнами, проходя через этапы недокументированных, частично документированных и документированных знаний. Показано, что поток знаний может, не достигая этапа документированных знаний, пригодных для использования в организации, возвращаться на доработку на предыдущие этапы. Поток знаний может прерываться на любом из этапов. Преимущество предложенного концепта СМЗ для ВО заключается в возможности проведения контроля потоков знаний до того, как они обретут форму документов. Работа со знаниями в цифровой среде впервые позволяет сделать этот начальный этап прозрачным для

контроля посредством измерения интенсивности деятельности преподавателей, а на последующих этапах – производить измерение самого потока знаний. Благодаря этому становится возможным управленческое воздействие на сотрудников и контроль потоков знаний. Руководство университета получает полную картину об активности преподавателей и интенсивности работы со знаниями, связанными с учебными дисциплинами и образовательными программами.

Ключевые слова: поток знаний, управление знаниями, цифровая среда, модель знаний, метрики

Цитирование: Днепровская Н.В., Шевцова И.В. Система менеджмента знаний в стратегическом управлении университетом // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. № 2. С. 20–40. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.20.40

Введение

Стратегическое управление университетом должно своевременно реагировать на изменения в современном обществе, обеспечивая его развитие и выполнение университетом своей миссии [1]. Источником современных технологических преобразований в обществе служит цифровизация, которая, с одной стороны, создает новые возможности для университетов, а с другой, предъявляет новые требования к содержанию и структуре образовательной деятельности [2–4]. Поиск адекватного ответа на вызовы цифровизации находятся в компетенции стратегического управления образовательной организацией [5]. Цель исследования – представить концептуальную модель менеджмента знаний (МЗ) в качестве механизма стратегического развития университета в условиях цифровизации общества.

Пример бизнес-среды показывает, что инструментарий МЗ входит в арсенал стратегического развития крупных корпораций, с помощью МЗ компании создают инновации, развивают персонал и расширяют области своей деятельности [6, 7]. Теория и практика МЗ обрела свои современные черты в корпоративном управлении. Хотя университеты были первыми организациями, в которых была создана система управления знаниями через научные исследования, образовательную деятельность и учебно-методологическую работу. Университеты с самого начала обеспечивали условия для работы со знаниями в масштабах всего общества. Сегодня традиционные для ВО методы и технологии работы со знаниями должны быть дополнены инновационными механизмами, чтобы использовать потенциал цифровизации для собственного развития и адекватного ответа на вызовы цифровой экономики.

Цифровая трансформация общества по сравнению с предыдущим этапом технологического преобразования характеризуется ростом сложности знаний [4]; ускорением научно-технического прогресса [8]; расширением областей междисциплинарных знаний; повышением интенсивности использования интеллектуальных активов [9]; появлением новых форм и способов профессиональной занятости людей [10]. Эти и другие характеристики цифровизации порождают вызовы к системе ВО.

Преодоление вызовов во многом зависит от того, как университет организует в условиях цифровизации формирование, накопление и использование своего главного актива – знаний. СМЗ благодаря цифровизации может включать и задействовать новые источники информации, технологии и методы работы со знаниями, перераспределять содержание информационной деятельности между субъектами, освобождая их от рутинных операций [11]. Высокая важность СМЗ в ВО обусловлена его большим влиянием на общество и его трансформацию в общество знаний [12].

1. Постановка задачи исследования

Международный стандарт «Системы менеджмента знаний: основные требования» [13] допускает множество вариантов определения знаний и разнообразие инструментов и методов по работе с ними. Допущения в определениях МЗ обусловлены зависимостью структуры и содержания знаний от контекста предметной области и/или отрасли. На основе анализа источников [13–15] дадим обобщенное определение СМЗ как организационной и информационно-технологической среде, в которой набор доступных методов и инструментов

используется людьми для создания, накопления, хранения, поиска, обогащения, обмена и применения знаний.

Для достижения стратегических целей развития университета требуется механизм МЗ, адаптированный к специфике ВО в контексте цифровизации общества. Цель исследования заключается в концептуальном раскрытии СМЗ в качестве механизма стратегического управления организацией ВО. Соответственно, задачами являются:

- ♦ выработка теоретических положений СМЗ в высшем образовании,
- ♦ разработка концептуальной модели СМЗ для стратегического управления университетом.

В представленном исследовании объектом выступает управление образовательной организацией ВО в условиях цифровизации. Учитывая большое количество видов деятельности и бизнес-процессов в университете, в качестве предмета исследования выбрана деятельность, в которой участвует наибольшее количество сотрудников университета, а именно: процесс разработки образовательных программ и содержания учебных дисциплин. В научной литературе [14, 15] этот вид деятельности выделяется в менеджмент академическими знаниями.

2. Обзор литературы

Менеджмент знаний (МЗ) является распространенной практикой в операционной повседневной деятельности университета. Инструменты, входящие в СМЗ, такие как сетевые диски, веб-сервисы совместной работы и мессенджеры активно используются преподавателями в учебном процессе [16]. Фрагментарное применение отдельных методов и технологий МЗ, как правило, не обозначается исследователями как СМЗ. Публикации, в которых МЗ в высшем образовании выделяется в самостоятельную область исследования, можно классифицировать по задачам МЗ. Учитывая множественность задач и направлений деятельности университета, полный список задач будет огромным, поэтому в качестве примера выделим только несколько: разработка инноваций [17], поддержка индустриального и бизнес-партнерства [18], обеспечение технологического преобразования университета [19, 20], развитие электронного обучения

[21], обучение слушателей менеджменту знаний [22, 23]. Проведенный Quarchioni et al [24] обзор исследований практик МЗ указывает на шесть основных концептуальных подходов к исследованию СМЗ в университетах: 1) управление интеллектуальными активами, 2) трансфер высокоэффективных знаний, 3) совершенствование технологий МЗ, 4) обучение МЗ, 5) производство и обмен академическими знаниями, а также 6) внедрение МЗ.

МЗ в ВО как область исследования является междисциплинарной, что подтверждает распределение по 123 научным дисциплинам публикаций по теме *knowledge management in higher education*, проиндексированных *Web of Science*. За период с 2000 по 2020 гг. в базе содержится 3102 публикации, 29% из них представлены в научной дисциплине образование (*education*), 25,1% – в экономике бизнеса (*business economics*), 9,7% – в технических науках (*engineering*), 8% – в компьютерных науках (*computer science*), 7% – в информатике (*information science, library science*). Большая часть научных результатов по исследованию МЗ в ВО раскрывает практику применения СМЗ в решении операционных задач управления, а доля исследований СМЗ в стратегическом управлении составляет менее 1% от найденных публикаций.

Практика применения СМЗ в стратегическом управлении исследована в нескольких университетах, входящих в международный рейтинг высшего образования¹. Опыт университета *King Abdulaziz University* в Саудовской Аравии [25] показывает организационную культуру в качестве ключевого драйвера СМЗ. Итальянские университеты *University of Bari* [26] и *Ca' Foscari University of Venice* [27] демонстрируют возможности СМЗ как среды взаимодействия между академическим и деловым сообществами, а также механизма привлечения абитуриентов на образовательные программы. Китайский университет *Wuhan University of Technology* [28] и индийский *University of Delhi* [29] применяют СМЗ с целью обеспечить востребованность и трудоустройство своих выпускников. Другой китайский университет *Northwestern Polytechnical University* [30] использует СМЗ для поддержки научной деятельности сотрудников и студентов. Опыт российского университета МЭСИ раскрывает СМЗ в качестве среды для инновацион-

¹ World University Rankings <https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings>

ного преобразования образовательных продуктов в электронные [31]. В рассмотренных кейсах эффективность внедрения СМЗ измеряется показателями производительности университета. Накоплен обширный опыт использования этих и других показателей в стратегическом управлении ВО, включая системы имитационного моделирования, системы поддержки принятия решений, бизнес-аналитики [32]. Проекты по цифровой трансформации в различных сферах деятельности, практически всегда направлены на стратегическое развитие организации [33, 34].

Обобщенному выводу об исключительно положительном влиянии СМЗ на показатели производительности университета препятствует так называемая ошибка выжившего. Кроме того, в рассмотренных кейсах для оценки влияния СМЗ на производительность университета используются методы на основе проведения опросов студентов [29, 35, 36] и преподавателей [25, 37], показывающих их удовлетворенность СМЗ, оценки актуальности СМЗ в их деятельности. При интерпретации результатов необходимо учитывать особенности метода опросов и экспертной оценки в оценке эффективности. Анализ представленных кейсов не позволяет экстраполировать результаты исследования на всю систему образования в силу различий в понимании СМЗ и его инструментов.

Ряд исследований проведены в национальных масштабах, охватывающих практику МЗ в нескольких университетах: Великобритании [36, 38], Австралии [39], Испании [40, 41], Польши [14], Малайзии [31, 42]. В исследованиях на национальном уровне раскрываются задачи СМЗ в контексте государственного регулирования, региональной специфики. Национальные системы ВО значительно различаются между собой, но объединяет их большое влияние государственных органов управления на операционную и стратегическую деятельность университетов. Внедрению СМЗ в итальянские [27] и австралийские [39] университеты могут препятствовать нормы государственного регулирования. А в Польше СМЗ поддерживается и реализуется на национальном уровне как механизм, обеспечивающий прозрачность и управляемость интеллектуальных активов в каждом университете и масштабах страны в целом [14].

В современных источниках сложно выделить универсальную структуру СМЗ, подходящую если не всем университетам, то хотя бы одному из ви-

дов университетов. При этом единое представление о СМЗ отсутствует и в других отраслях. Общим для МЗ не только для применения в университетах, но и в организациях других отраслей является то, что они поддерживают и обеспечивают достижение стратегических целей. Обзор литературы показывает пробел в раскрытии концептуальной схемы СМЗ как механизма стратегического управления университетом в условиях цифровизации общества. Академическому сообществу предстоит провести полномасштабные исследования СМЗ в стратегическом управлении университетом.

3. Методология исследования

Информационную базу для исследования содержания СМЗ в стратегическом управлении университетами составляют статьи, содержащие описание кейсов применения СМЗ в ВО Австралии [39], Великобритании [36, 38], Индии [29], Италии [26, 27], Испании [40, 41], Китая [28, 30], Малайзии [31, 42], Саудовской Аравии [25], Польши [14] и России [31]. Для разработки теоретических положений СМЗ применяется метод анализа, сопоставления и обобщения ключевых аспектов в рассмотренных кейсах.

Для разработки концептуальной модели СМЗ в стратегическом управлении университетом применяется метод категоризации [43] и семантического моделирования [44].

Учитывая огромный масштаб деятельности университета, необходимо ограничить исследование процессами разработки образовательных программ и учебно-методических материалов, т.е. академическими знаниями. Попытка охватить все виды деятельности университета в одной статье может привести к размытым неконкретным результатам.

4. Результаты исследования и обсуждение

4.1. Теоретические положения МЗ в высшем образовании

4.1.1. Объект управления

Университеты были первыми организациями, осуществляющими МЗ на системной основе. Управляющее воздействие было направлено на знания, их сбор, хранение и распространение. Актуальность управления непосредственно знаниями возникает в процессах, для которых первостепенна сохранность

знаний. Первые бизнес-кейсы по МЗ решали задачу сохранения знаний [7], обусловленной сменой поколений сотрудников на производстве. Известным и распространенным решением этой задачи является документирование и хранение в информационной системе, библиотеке или базе знаний сведений о знаниях. Знание на протяжении столетий определялось как субъективное [45], несуществующее вне контекста деятельности человека. Таким образом, в информационных системах хранятся сведения о знаниях, а не сами знания. Современные исследователи также придерживаются мнения о том, что знание является субъективной категорией [46], но расширяют круг субъектов знаний, включая в него организации [6, 11, 47]. Организации могут учиться, создавать, накапливать и использовать знания. Организационное знание как ресурс управления характеризует интеллектуальный капитал и связывает между собой человеческий, социальный и операционный активы [48].

Свойства знания в СМЗ обуславливают приоритет качественного измерения его ценности над количественными характеристиками [14]. Вопрос качественного измерения научных результатов остро обсуждается в академическом сообществе, поскольку количественное измерение через оценку показателей библиометрии не дает представления об уровне и значимости научных результатов [49]. Качественная оценка должна производиться экспертами в соответствующей научной области [50]. Сложность использования экспертной оценки состоит в ее высокой стоимости и длительности проведения. Экспертная оценка приемлема в СМЗ, где главной функцией является отбор наиболее важных сведений. Но она будет замедлять процессы, в которых приоритетными являются функции создания, распространения, обмена и модификации знаний. В условиях ускорения научно-технического прогресса подобное замедление ограничивает гибкость и интенсивность работы со знаниями.

Процедуры внешней и/или внутренней экспертной оценки применяются для утверждения рабочих программ учебных дисциплин практически во всех российских университетах. Процесс оценки качества знаний является трудоемким и не может охватить весь объем знаний, циркулирующий в университете.

Первые теории МЗ полагались на различные суррогаты знаний для того, чтобы отделить знание от субъекта и выделить наиболее ценные сведения

из доступного объема контента. Основоположники МЗ Нонака и Такеучи [6] выбрали использование знания людьми в качестве признака знаний, представляющих ценность для организации. Курлов и Петров [51] для целей управления инновациями вводят понятие инструментальное знание, на основе которого происходит преобразование деятельности человека. В международном стандарте [13] речь идет о ценности знания, а не о самом знании. Для того чтобы рассматривать СМЗ в качестве механизма стратегического управления, необходимо вынести за скобки дискуссию о структуре и содержании знания.

Учитывая, что ценность знаний определяется не их объемом, а их востребованностью и использованием людьми при выполнении своих трудовых функций, то именно эта активность должна выступать объектом воздействия в СМЗ. Первое теоретическое положение состоит в том, что объектом воздействия в СМЗ является активность пользователей в среде знаний.

ISO [13] определяет в качестве средства воздействия на МЗ среду, которая обеспечивает благоприятные условия людям для работы со знаниями. В широком смысле среда вмещает внутреннюю среду организации и может захватывать часть внешней среды, включающей внешние источники знаний и экспертов. В узком смысле среда поддерживается системой менеджмента знаний как комплексом организационно-информационных решений для выполнения функций МЗ. В этой среде сотрудники получают доступ к знаниям, могут взаимодействовать друг с другом и использовать разные методы и инструменты для работы со знаниями.

Действия сотрудников поддерживают поток знаний в образовательной и других видах деятельности университета. Исследование коммуникаций между преподавателями показывает их высокую оценку возможности взаимодействовать друг с другом [52]. Из серии бесед, проведенных с нобелевскими лауреатами по экономике, можно вынести большую роль среды общения в их становлении как ученых. Лидеры мировой науки подчеркивают значимость неформального обсуждения гипотез и теорий с коллегами [53]. Этап неформальных обсуждений включен в цикл научно-технической информации, включающий непубликуемые материалы, с этого этапа начинается жизненный цикл знаний в системе управления знаниями госкорпорации «Росатом» [7].

4.1.2. Специфика элементов МЗ в высшем образовании

Распространение технологий и методик МЗ в бизнесе происходит неравномерно, практически для каждой отрасли создается своя методология СМЗ. Потребность адаптации и разработки специального подхода к СМЗ в отрасли обусловлена тем, что свойства, характеризующие ценность знания, зависят от отраслевой и даже организационной специфики [13, 54]. Зависимость знаний от субъективной интерпретации в контексте отрасли затрудняет прямой трансфер лучших практик СМЗ между отраслями и организациями.

Практики МЗ в качестве механизма стратегического развития в университет пришли из бизнес-среды [55]. В бизнесе применяются различные способы реализации СМЗ, различающиеся в зависимости от поставленных целей стратегического развития, отрасли или рынка, где действует организация. Созданная в Росатоме СМЗ базируется на их научно-технической информационной системе и документированных интеллектуальных активах [7], в то время как японские компании Honda Motors и Eisai опираются на среду знаний, в которых происходит работа, главным образом с недокументированными знаниями [56].

Специфика организаций ВО влияет на методологию СМЗ в университетах. Главная особенность заключается в постановке цели стратегического развития. Как отмечают Кузьминов и Юдкевич [1], цели стратегического развития для российских университетов устанавливают органы государственной власти, а зависимость национальной системы ВО от преимущественно бюджетного финансирования ограничивает инициативу университетов в выборе направлений своего развития. Большая роль государства в практике МЗ в ВО выделяется в Австралии, Италии и Польше.

Среду МЗ часто рассматривают с перспективы ее трех укрупненных групп элементов: люди, процессы, технологии [57, 58]. В деятельности людей знания обретают ценность и смысл, нередко СМЗ входит в сферу ответственности подразделений, отвечающих за развитие персонала. Процессы, выполняемые в организации, определяют саму возможность включения МЗ в них, а также требования к организации и содержанию СМЗ. Политика организационного развития и регламенты должны включать МЗ, раскрывать его вклад в эффективность организации в целом и ее сотрудников. Со-

временные цифровые технологии обеспечивают МЗ инструментарием создания и передачи знаний, а также их совместного накопления и использования. В зависимости от приоритизации одного из элементов среды, СМЗ может находиться в компетенции кадрового, административного или ИТ-подразделения организации. В *таблице 1* обобщены особенности СМЗ в университетах по группам элементов среды.

Второе теоретическое положение состоит в том, что организация МЗ в университете должна учитывать особенности ВО с тем, чтобы в полной мере реализовать высокий интеллектуальный потенциал сотрудников, охватить множество предметных областей и научных дисциплин с учетом неоднородности рабочих мест преподавателей и исследователей.

Анализ практики применения СМЗ в университетах показывает, что каждый элемент приносит свой вклад в успех и стратегическое развитие. Элементы среды обеспечивают культурные [25], организационные [39] и технологические [41] условия для успеха СМЗ в университете.

4.1.3. Адаптация механизма МЗ к стратегическим целям развития университета

СМЗ как механизм стратегического развития опирается на миссию и ценности организации [56]. Кейсы МЗ в университетах значительно друг от друга отличаются, но общие черты обнаруживаются при их группировке по миссии. Практикам применения СМЗ в университетах, следующих единому типу миссий, присущи общие черты. В ВО выделяют три вида миссии: образовательную, научную и так называемую третью миссию. Третья миссия появилась в результате изменений в обществе под влиянием научно-технического прогресса, глобализации экономики, политических и экономических кризисов [64]. Третья миссия заключается в прямом влиянии университета на социально-экономическое развитие города или местности за счет организации работы сообществ предпринимателей и жителей, распространения лучших практик, новых бизнес-моделей и др. [65]. В то время как университеты образовательной и научной миссии косвенно влияют на развитие общества через выпускников и научные исследования. Университеты на протяжении столетий руководствуются образовательной и научной миссией.

Таблица 1.

Особенности среды менеджмента знаний в высшем образовании

Группа элементов среды	Особенность высшего образования для МЗ
Люди	Подтвержденный высокий интеллектуальный потенциал научных и педагогических работников [3, 40]
	Возможность привлечь интеллектуальный потенциал бизнес-среды через выпускников и их работодателей [59]
	Культура свободного обмена знаниями: сотрудники университетов, как правило, разделяют ценность свободного обмена знаниями для развития науки и образования [42, 60]
	Академическая конкуренция среди научных и педагогических работников [36]
Процессы	Проведение исследований и образовательных программ по большому перечню научных дисциплин и предметных областей [61]
	Различные подходы к формированию и поддержке творческих команд и проектов
	Приоритет выполнения образовательной и научной миссии над коммерческими задачами [35]
	Взаимодействие с внешними источниками и экспертами при работе со знаниями [3, 40]
	Государственное регулирование образовательной деятельности, включая процедуры аккредитации и лицензирования [62]
Технологии	Внешние источники знаний: электронные библиотеки, базы данных
	Распределенные внутренние источники знаний: образовательные материалы, научные, нормативные акты и др.
	Применение технологий к обработке персональных данных должно быть обеспечено мерами по их защите
	Мобильное рабочее место и принцип BYOD (принеси свой собственный девайс), как следствие, сотрудники используют вычислительные и программные средства по собственному выбору исходя из своих возможностей и потребностей в технологиях [63]

МГУ им. М.В. Ломоносова² в XXI в. следует миссии, сформулированной еще в XVIII в.

Эффективность СМЗ измеряется показателями производительности университета. Анализ практики СМЗ в университетах позволил обобщить характеристики МЗ в соответствии с типом миссии по параметрам географического охвата и используемого инструментария (таблица 2).

В университетах, для которых **образовательная миссия** — приоритетная, основная ценность заключается в профессиональной реализации и востребованности своих выпускников. Трудоустрой-

ство выпускников рассматривается как один из основных показателей производительности университета. МЗ направлен на то, чтобы обеспечить востребованность выпускников образовательных программ рынком труда. Университеты с приоритетом образовательной миссии фокусируют свою деятельность на выбранных регионах для выстраивания отношений с работодателями и ориентированы на рынок труда. В СМЗ университетов образовательной миссии наиболее часто используются технологии электронного обучения и поддержки взаимодействия.

² Миссия МГУ им. Ломоносова: «просвещение народов к пользе общего жития человеческого, ... к благополучию всего отечества». Источник: Программа развития федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» до 2020 года. Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 27 сентября 2010 г. № 1617-р http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?doc_itself=&nd=102141648&page=1&rdk=5&link_id=6#10.

Таблица 2.

Характеристики СМЗ по типу миссии университета

	Образовательная миссия [25, 28, 29]	Научная миссия [30, 40, 63]	Третья миссия [26, 27]
Основные показатели производительности	Трудоустройство выпускников, компетенции, образование, удовлетворенность работодателей и студентов, позиция в международных рейтингах	Публикации, рейтинг, цитирования, патентование научных результатов, инновации	Создание инноваций, конкурентные преимущества, ценность, стратегия, улучшение жизни общества
Географический масштаб деятельности	В выбранных регионах или странах	Глобальный	Региональный
Наиболее характерные инструменты менеджмента знаний	Корпоративные порталы, среда электронного обучения	Экспертные сообщества [66], библиотеки знаний, множество источников информации, инструменты совместной работы	LivingLabs [65], Экспертные сообщества

Доминирование *научной миссии* в стратегическом управлении ставит перед университетами задачи по продвижению в мировых рейтингах, публикации научных работ в ведущих изданиях, получении научных результатов мирового уровня. Эти задачи обуславливают глобальный масштаб МЗ [67]. Основные взаимодействия сотрудников при работе со знаниями могут находиться вне университетского кампуса. В кейсах исследовательских университетов поднимается вопрос о негативном влиянии отдельных инструментов или практик СМЗ на показатели производительности. Анализ внедрения СМЗ 70 испанскими университетами обнаружил связь между распространением ИТ совместной работы и снижением числа публикаций в высоко цитируемых изданиях [41].

Университеты *третьей миссии* ориентированы на социальное, культурное и технологическое развитие конкретной территории, например, города [68]. Третья миссия чаще всего характерна для предпринимательских университетов [26], которые выступают связующим звеном между бизнесом, жителями и властью [65]. В проектах по развитию умных городов университеты выполняют функции по выработке, сбору и отбору знаний для реализации проектов, восполняя недостаток научной и образовательной экспертизы. Быстрые изменения в технологиях, экономике и обществе требуют от институтов ВО диверсифицировать источники знаний и обеспечивать их трансфер в общество. Университеты служат мостами, соединяющими в экосистеме экономики и общества его ключевые сферы: производство, образование, государственное управление

и исследования. Из рассмотренных кейсов применения СМЗ в управлении университетов третьей миссии следует локальный или четко очерченный региональный масштаб их деятельности.

Третье теоретическое положение СМЗ в ВО заключается в обеспечении выполнения университетом своей миссии. При этом эффективность СМЗ измеряется показателями производительности университета в целом, а не выполнения отдельных функций МЗ.

Ориентация на показатели производительности в стратегическом управлении университетом является основой в системах класса BPM (business performance management), которые уже используются в ВО [32]. Таким образом, СМЗ может быть встроена в существующий ИТ-ландшафт стратегического управления, задействовав имеющиеся вычислительные мощности и программные средства для хранения и аналитической обработки данных.

4.2. Концептуальная модель менеджмента знаний

4.2.1. Концептуальная схема потока знаний в ВО

Действия преподавателей приводят в движение поток знаний в университете, который проходит через несколько этапов от зарождения идеи знания (создания учебного курса) до его использования и распространения в документированном виде (учебных и методических материалов). В ВО под знаниями часто понимают научно-техническую информацию, процесс создания которой

предполагает прохождение цикла из нескольких этапов: неопубликованные знания, первичные источники публикации знаний и вторичные источники публикации знаний [7, с. 75]. В бизнес-практике большое распространение получила модель Nonaka et al. [56] создания и использования знаний SECI, название которой складывается из первых букв названия этапов создания знаний: Socialization, Externalization, Combination, Internalization (SECI). Авторы модели выделили этапы в соответствии с документированием зна-

ния и численностью участвующих специалистов. На основе модели SECI на *рис. 1* представлены этапы разработки учебно-методических материалов. *Рисунок 1* отображает последовательность этапов по часовой стрелке, внутренняя окружность содержит перечень действий сотрудников, а внешняя – инструменты цифровой среды, которые задействуются при их выполнении. Для трех этапов указаны названия создаваемых на них документов для примера, рисунок содержит не полный перечень возможных документов.



Рис. 1. Процесс разработки учебно-методических материалов в модели SECI.

Этап S – это инициация или повторный запуск проекта. Этап состоит из межличностных взаимодействий нескольких преподавателей. Результаты этапа могут фиксироваться в виде черновиков и набора идей, но не документируются, т.е. не регистрируются и не включаются в информационные системы или библиотеки знаний, им не присваивается номер. Этот этап может проходить с использованием электронной почты или в социальной сети. Круг лиц, участвующих на данном этапе, включает авторский коллектив, который как правило, не большой.

Тис [69] указывает на то, что организация работы со знаниями на этапе до их документирования

делает интеллектуальные активы стабильным источником конкурентных преимуществ для организации. В российских университетах этот этап практически не контролируется менеджментом, так как он происходит в преподавательской среде и не организуется на университетском уровне. Следовательно, университеты не получают дополнительных преимуществ для своего развития от первого этапа работы преподавателей по созданию образовательных материалов.

На **этапе E** создаются первые документы и расширяется круг вовлеченных лиц в работу со знаниями, которые проводят рецензирование, обсуждение и утверждение представленных авторами материала-

лов. Утверждение разработанных материалов может происходить разными путями. В Российском экономическом университете им. Г.В. Плеханова их утверждает научный методический совет факультета (высшей школы), в Высшей школе экономики – академический совет образовательной программы, в других университетах применяются другие процедуры.

В системе ВО, как правило, фиксируются и учитываются учебные и методические материалы после их утверждения и принятия в работу, что соответствует **этапу С**. Учебные материалы доступны в библиотеках и информационных системах, они используются преподавателями и студентами.

Завершающий **этап I** в процессе создания и использования знаний включает оценку, анализ и синтез опыта применения знаний. На этапе I индивидуальная оценка студентов своего опыта обучения по курсу, анализ и синтез преподавателем своего учебного опыта документируется в виде формализованной оценки (студенческая оценка). Преподаватели, использовавшие материалы, делают комментарии и дают рекомендации по ним. На этапе создаются документы, содержащие рейтинг, предложения по корректировке и др.

Модель SECI на временной шкале часто представляют в виде спирали, где поток знаний последовательно проходит через этапы, и цикл работы со знанием повторяется на новом витке. Разработка учебных и методических материалов в целом проходит через все этапы SECI, но траектории могут быть различными. Варианты траекторий возникают, когда начавшаяся разработка учебного курса на этапе обсуждения получает замечания и возвращается на предыдущий этап, таким образом, на временной шкале процесс будет выглядеть как волна. На *рисунке 2* схематически представлен процесс, где ось X – это временная шкала, а ось Y – катего-

риальная шкала, отражающая степень документирования знаний.

В примере на *рисунке 2* волна, показанная сплошной линией, преодолевает линию *a* трижды, что означает, что учебные материалы прошли три полных цикла и использовались в учебном процессе. В верхней точке кривой происходит утверждение программы дисциплины и других учебно-методических материалов. Волны, показанные прерывистыми линиями, не достигли этапа С, они не поступили в библиотеку или репозиторий университета и не были введены в учебный процесс, но работа над ними продолжается. Одни потоки знаний прерываются спустя неделю, а другие могут тянуться годами. Потоки знаний существенно различаются по продолжительности и интенсивности волн, в зависимости от курса, предметной области, мотивации и компетенции творческого коллектива. Если в одних научных дисциплинах жизненный цикл знаний может составлять более 5 лет, то в других не превысит и года [70]. Потоки знаний по различным направлениям подготовки и учебным дисциплинам могут занимать различные промежутки времени от нескольких недель до нескольких лет.

Количество потоков знаний в университете может быть косвенно измерено через количество образовательных программ и включенных в них учебных курсов. Потоки знаний могут быть сгруппированы по образовательным программам или тематике с опорой на кафедры (департаменты).

Предложенная модель не меняет привычного хода разработки академических знаний, а формализует их для контроля и управления. Традиционный подход к МЗ через фиксацию и хранение знаний в библиотеках позволяет университету контролировать потоки знаний, которые поступили в библиотеку и были приняты в работу, в виде документов: рабочей программы дисциплины, учебного посо-

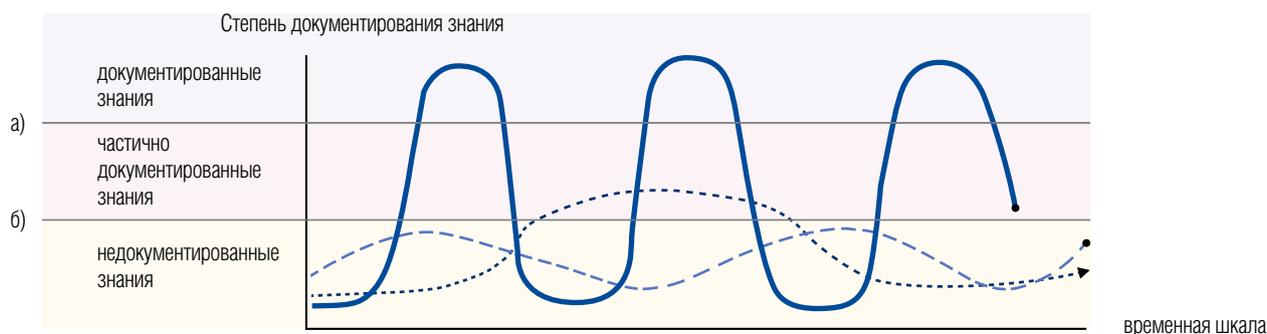


Рис. 2. Процесс разработки учебных и методических материалов.

бия и т.д. Важность библиотек в качестве хранилищ знаний не подлежит пересмотру, они дополняются методами и технологиями, поддерживающими операции со знанием и взаимодействие между сотрудниками. Работа со знаниями, которая частично документируется и находится между линиями *a* и *b*, также частично контролируется университетом, а вся деятельность ниже линии *b* находится вне зоны видимости для администрации университета. Организация потока знаний в цифровой среде позволяет вывести все его этапы из слепой зоны и обеспечить контроль над ним.

4.2.2. Система показателей потока знаний

Основная функция МЗ состоит в поддержке потока знаний, которая обеспечивается через измерение и контроль. Для управления разработкой знаний на всех этапах процесса необходима система показателей для оценки их состояния и инструментов для измерений.

Под влиянием цифровизации общества многие виды деятельности и процессы переносятся в цифровую среду, одним из преимуществ цифровой среды является возможность обеспечить автоматический сбор данных по выбранным параметрам (метрикам). Современная среда знаний – это цифровая среда, значительная часть действий со знаниями осуществляется с использованием цифровых инструментов взаимодействия (электронная почта, мессенджеры, онлайн-конференции), совместной работы через облачные сервисы и диски хранения информации. Таким образом обеспечивается выполнение необходимого условия для автоматической оценки и измерения активности сотрудников, приводящих поток знаний в движение.

Модель SECI показывает, что документированию знаний предшествует этап появления знаний, включающий работу с неявными знаниями. Невозможно проводить измерение недокументированных или неявных знаний, но известно, что они активно задействуются при взаимодействии людей. Этот этап в системе управления университетом обычно не рассматривается и не контролируется. Его существование можно сравнить с феноменом черного ящика в кибернетике, где можно оказывать воздействие на «вход» и контролировать «выход», но то, что происходит внутри, невозможно ни измерить, ни контролировать [71]. Но именно на этапе *S* (socialization) происходит зарождение но-

вого знания или адаптация уже известного знания к изменениям и новым требованиям.

Цифровая среда позволяет фиксировать состояние каждого этапа потока и контролировать его ход. Исходя из того, что объектом воздействия в СМЗ в ВО является активность и действия преподавателей, то и система показателей потока знаний должна количественно измерять активность преподавателей. В соответствии с этапами процесса разработки учебных материалов показатели могут быть сгруппированы следующим образом:

1) взаимодействие и коммуникации между людьми характеризуют этап *S*, не содержащий документированных знаний;

2) вклад сотрудников в базу знаний – этап *C*;

3) совместная работа со знаниями – этапы *E* и *I* частично документированных знаний. В системе показателей потока знаний эти два этапа объединены, поскольку они оба включают обсуждение и взаимодействие с привлечением группы заинтересованных сторон (руководитель образовательной программы, студенты, преподаватели других дисциплин и т.д.).

Система показателей потока знаний представлена в *таблице 3*, содержащей источник и описание задействованных в измерении данных.

Для выполнения СМЗ своей функции производится сравнительная оценка потоков знаний университета. Схожие значения показателей активности преподавателей на этапе *S* по разным потокам знаний свидетельствуют о гомогенности организационной культуры в университете. Опираясь на метрику этапа *S* оказывается управленческое воздействие по формированию и развитию культуры. Сравнительно низкие показатели одного из потоков могут указывать на разобщенность творческого коллектива по данной предметной области. В бизнесе исследуется феномен саботажа [72], когда сотрудники преднамеренно исключают себя из движущих сил потока знаний.

На этапе *C* оценивается вклад преподавателя в накопление и сохранение знаний. При этом оценка ценности знаний не производится. При косвенной оценке ценности знаний через их востребованность существует риск того, что некоторые знания могут оказаться недооцененными и будут потеряны. Этот риск впервые был обозначен еще в середине XX в. из-за постоянного роста информационного потока и отсутствия возможностей у общества

Таблица 3.

Показатели потока знаний в СМЗ

Группа показателей	Этап SECI	Показатель	Источник данных	Тип данных	Вид измерения
1. Взаимодействия и коммуникации сотрудников	S	1.1. Интенсивность коммуникации (количество и частота отправляемых и получаемых сообщений)	Цифровые сервисы взаимодействия: электронная почта, мессенджеры, форумы	Числовые	Частота, количество
	S	1.2. Содержание взаимодействия (отправляемых и получаемых сообщений)	Цифровые сервисы взаимодействия: сообщества, открытые форумы, опросы	Символьные	Контент-анализ
	S	1.3. Охват (широта) взаимодействий (количество лиц, вовлеченных во взаимодействия)	Цифровые сервисы взаимодействия: электронная почта, мессенджеры, форумы	Символьные	Количество, частота
2. Вклад сотрудников	C	2.1. Интенсивность загрузки контента	Библиотека знаний	Числовые	Количество, частота
	C	2.2. Содержание загруженного контента	Библиотека знаний	Символьные	Контент-анализ
3. Совместная работа со знанием	E, I	3.1. Интенсивность рецензирования, комментирования (обратная связь на работу коллег)	Сервисы рецензирования и комментирования	Числовые и символьные	Количество, объем рецензий (комментариев)
	I	3.2. Рейтингование (обратная связь на использование знаний)	Сервисы оценки (опросные листы)	Числовые и символьные	Количество ценочек
	E, I	3.3. Комментирование	Сервисы обсуждения: форумы, сообщества	Числовые и символьные	Количество, объем комментариев
	E	3.4. Интенсивность обновления (количество версий и частота внесения изменений)	Библиотека знаний	Числовые	Количество, частота

его аналитически обрабатывать [73]. Несмотря на прорывное развитие и распространение современных цифровых технологий этот риск сохраняет свою актуальность [74].

Показатели совместной работы характеризуют этапы работы с частично документированными знаниями, когда круг вовлеченных лиц расширяется. По состоянию этих показателей можно судить об интенсивности и объеме потока знаний, оказывать воздействие на поддержку совместной работы.

Потоки знаний современного университета постоянно растут и происходят в цифровой среде, подходящей для того, чтобы измерять и учитывать контент (знания) и действия (активность) по отношению к нему. Этапы создания и использования академических знаний становятся прозрачными для контроля и, следовательно, управляемыми.

СМЗ необходимо рассматривать как один из элементов уровня приложений ИТ-архитектуры управления университетом, представленной на рисунке 3. С использованием сервисного подхода

СМЗ встраивается в ИТ-ландшафт университета таким образом, чтобы задействовать возможности многомерного хранилища для хранения и обработки первичных показателей потока знаний, а ВРМ системы для измерения показателей производительности и оценки эффективности СМЗ.

С одной стороны, СМЗ использует возможности цифровизации в части имитационного моделирования и предиктивной аналитики потоков знаний. А с другой стороны, СМЗ дополняет системы стратегического управления ВО данными по потоку знаний, оказывающими решающее воздействие на содержание образовательного и исследовательского процессов.

Заключение

В условиях быстрых технологических и экономических изменений университет так же, как и бизнес нуждается в благоприятной среде для создания инноваций, обеспечивающих его развитие. В бизнес-практике получил распространение под-

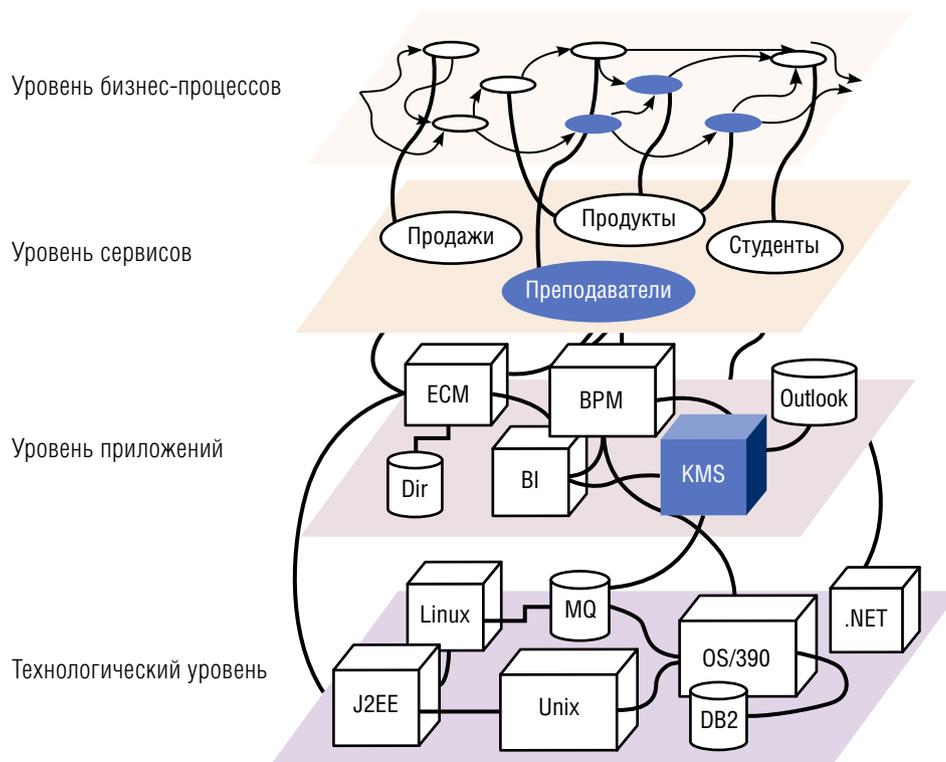


Рис. 3. Место CM3 в IT-архитектуре университета, KMS (англ. knowledge management system).
Источник: адаптировано из [34, с. 229].

ход с использованием методов и технологий менеджмента знаний. Эти методы, объединенные в CM3, могут дополнить традиционные для высшего образования подходы, основанные на научных исследованиях и систематическом повышении квалификации сотрудников университетов.

Специфика CM3 в высшем образовании заключается в том, что объектом управления выступает активность преподавателей и методистов по разработке, модификации, обсуждению и использованию образовательных материалов. Действиями преподавателей поток академических знаний приводится в движение от зарождения идеи курса до его реализации в учебном процессе и последующей доработке. Применение CM3 в университетах требует учета особенностей высшего образования, таких как большое количество научных дисциплин и предметных областей, по которым ведется разработка образовательных материалов и обучение, подтвержденный высокий интеллектуальный потенциал преподавателей, разрозненная ИТ-инфраструктура университета с множеством задействованных технологий и источников ин-

формации. При этом методы и технологии в CM3 должны быть адаптированы к индивидуальным потребностям и возможностям каждого университета, которые определяются миссией, регионом, масштабом академической деятельности университета и другими параметрами. Все это делает затруднительным разработку универсальной CM3, подходящей для любого института высшего образования, но не препятствует моделированию потока знаний.

Поток академических знаний в университете представлен на базе SECI модели процесса создания и использования знаний в организации. Адаптированная к высшему образованию модель SECI содержит перечень видов деятельности и цифровых сервисов, обеспечивающих движение потока знаний. При этом поток знаний движется волнами через этапы недокументированных знаний (S), частично документированных (E, I) и полностью документированных знаний (C). Практически все функции по работе со знаниями в современном мире осуществляются с использованием ИТ, что позволяет контролировать показатели интенсивности потока знаний.

Цифровая среда обеспечивает возможности контроля за потоками знаний в университете при разработке образовательных и методических материалов на всех этапах, что делает поток знаний прозрачным и позволяет оперативно принимать управленческие решения. Предложенная система показателей измеряет взаимодействие и коммуникацию между преподавателями, их вклад в создание образовательных материалов, их участие в совместной работе. Поскольку в университете одновременно протекает множество потоков знаний, то сравнивая состояние этих потоков между собой, можно выявлять наиболее и наименее успешные практики и оказывать соответствующее воздействие на действующих лиц.

Современная методология СМЗ позволяет сформировать комплекс мер для вовлечения практически всех преподавателей университета в разработку

и распространение инноваций. Университет, который не контролирует поток знаний полностью, не имеет полного представления об инновационном потенциале своего стратегического развития. Дальнейшие исследования в области МЗ в высшем образовании направлены на выработку принципов МЗ в университетах, структуризацию методов и технологий СМЗ по уровням управления и предметным областям применения. Авторы исследования работают над апробированием предложенных в статье теоретических и методологических положений СМЗ на командном уровне российских университетов. ■

Благодарности

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию Финансового университета при Правительстве РФ.

Литература

1. Кузьминов Я.И., Юдкевич М.М. Университеты в России: как это работает. М.: Высшая школа экономики, 2021.
2. Рогозин Д.М., Солодовникова О.Б., Ипатова А.А. Как преподаватели вузов воспринимают цифровую трансформацию высшего образования // Вопросы образования. 2022. № 1. С. 271–300. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2022-1-271-300>
3. Frunzaru V., Vătămañescu E.-M., Gazzola P., Bolisani E. Challenges to higher education in the knowledge economy: anti-intellectualism, materialism and employability // Knowledge Management Research & Practice. 2018. Vol. 16. P. 388–401. <https://doi.org/10.1080/14778238.2018.1493368>
4. Ilvonen I., Thalmann S., Manhart M., Sillaber C. Reconciling digital transformation and knowledge protection: a research agenda // Knowledge Management Research & Practice. 2018. Vol. 16. No. 2. P. 235–244.
5. Salmi J. Excellence Strategies and the Creation of World-Class Universities // Liu, N.C., Cheng, Y., Wang, Q. (eds) Matching Visibility and Performance. Global Perspectives on Higher Education. SensePublishers, Rotterdam, 2016. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-773-3_2
6. Нонака И., Такеучи Х. Компания – создатель знания. Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах. М.: Олимп-Бизнес, 2003.
7. Росатом делится знаниями / под ред. В.А. Першукова и Д.С. Медовникова. М.: Высшая школа экономики, 2012.
8. Akaev A., Rudskoy A., Khusainov B., Zeman Z. Information model for calculating the rate of technical progress // Rudskoi, A., Akaev, A., Devezas, T. (eds). Digital Transformation and the World Economy. Studies on Entrepreneurship, Structural Change and Industrial Dynamics. Springer, Cham, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89832-8_2
9. Angelidou M. Smart cities: A conjuncture of four forces // Cities. 2015. Vol. 47. P. 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.05.004>
10. Kuzminov Ya., Sorokin P., Froumin I. Generic and specific skills as components of human capital: New challenges for education theory and practice // Foresight and STI Governance. 2019. Vol. 13. No. 2. P. 19–41. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2019.2.19.41>
11. Славин Б.Б. Технологии коллективного интеллекта в управлении бизнес-процессами организации // Бизнес-информатика. 2022. Т. 16. № 2. С. 36–48. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.2.36.48>
12. Higher education for development: an evaluation of the World Bank Group's support (English) / Independent Evaluation Group. Sector or thematic evaluation Washington, D.C.: World Bank Group, 2017. [Электронный ресурс] <http://documents.worldbank.org/curated/en/729101493052924041/Higher-education-for-development-an-evaluation-of-the-World-Bank-Group-s-support> (дата обращения 10.05.2023).
13. Knowledge management systems – Requirements. ISO 30401:2018 / ISO, 2018. [Электронный ресурс] <https://www.iso.org/ru/standard/68683.html> (дата обращения 10.05.2023).
14. Deja M. Information and knowledge management in higher education institutions: the Polish 5 case // Online Information Review. 2019. Vol. 43. No. 7. P. 1209–1227. <https://doi.org/10.1108/OIR-03-6 2018-0085>
15. Yeh Y.M.C. The implementation of knowledge management system in Taiwans higher education // Journal of College Teaching & Learning. 2005. Vol. 2. No. 9. <https://doi.org/10.19030/tlc.v2i9.1861>

16. Малошенок Н.Г. Взаимосвязь использования Интернета и мультимедийных технологий в образовательном процессе со студенческой вовлеченностью // Вопросы образования. 2016. № 4. С. 59–83.
17. Vick T.E., Nagano M.S., Popadiuk S. Information culture and its influences in knowledge creation: Evidence from university teams engaged in collaborative innovation projects // *International Journal of Information Management*. 2015. Vol. 35. No. 3. P. 292–298.
18. Huang M.-H., Chen D.-Z. How can academic innovation performance in university–industry collaboration be improved? // *Technological Forecasting and Social Change*. 2017. Vol. 123. P. 210–215. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.03.024>
19. Al-Jedaiah M. Knowledge management and e-learning effectiveness: Empirical evidence from Jordanian higher education institutions // *International Journal of Emerging Technologies in Learning*. 2020. Vol. 15. No. 5. P. 50–62.
20. Altınay F., Altınay M., Daglı G., Altınay Z. A study of knowledge management systems processes and technology in open and distance education institutions in higher education // *International Journal of Information and Learning Technology*. 2019. Vol. 36. No. 4. P. 314–321. <https://doi.org/10.1108/IJILT-02-2019-0020>
21. Dneprovskaya N., Shevtsova I., Bayaskalanova T., Lutoev, I. Knowledge management methods in online course development // *Proceedings of the European Conference on e-Learning, ECEL*, 2016. P. 159–165.
22. Stankosky M. *Advances in knowledge management: University research toward an academic discipline* // Stankosky, M. (Ed.) *Creating the Discipline of Knowledge Management*, Elsevier Butterworth-Heinemann, Washington, 2005.
23. Vold T., Have H., Kaloudis A. On work relevance of adult education: A case study narrative // *The Electronic Journal of Knowledge Management*. 2020. Vol. 18. No. 2. P. 105–120.
24. Quarchioni S., Paternostro S., Trovarelli F. Knowledge management in higher education: A literature review and further research avenues // *Knowledge Management Research & Practice*. 2020. Vol. 20. No. 2. P. 304–319. <https://doi.org/10.1080/14778238.2020.1730717>
25. Adeinat I.M., Abdulfatah F.H. Organizational culture and knowledge management processes: Case study in a public university // *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*. 2019. Vol. 49. No. 1. P. 35–53. <https://doi.org/10.1108/VJKMS-05-2018-0041>
26. Lombardi R., Massaro M., Dumay J., Nappo F. Entrepreneurial universities and strategy: The case of the University of Bari // *Management Decision*. 2019. Vol. 57. No. 12. P. 3387–3405. <https://doi.org/10.1108/MD-06-2018-0690>
27. Zanin F., Massaro M., Bagnoli C. Towards a competitive knowledge management strategy approach in the university setting: the case of ca'Foscari university of Venice // *Building a Competitive Public Sector with Knowledge Management Strategy*. IGI Global, 2014. P. 362–382.
28. Wu J., Tian J., Lu L., Weng C., Xiang J. Surveys on knowledge management and knowledge creation in a Chinese research university // 2016 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C). 2016. P. 186–193.
29. Jain N., Gupta V. The impact of knowledge management system on student performance // *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*. 2019. Vol. 49. No. 1. P. 115–135. <https://doi.org/10.1108/VJKMS-07-2018-0065>
30. Zhou Y. The knowledge management status and improvement strategy of continuing education in university // *International Journal of Intelligent Information and Management Science*. 2019. Vol. 8. No. 5. P. 111–115.
31. Тихомиров В.П., Днепровская Н.В. Система менеджмента знаний как среда цифровой трансформации университета на примере МЭСИ // *Информационное общество*. 2022. № 5. С. 44–57. https://doi.org/10.52605/16059921_2022_05_44
32. Исаев Д.В. Информатизация стратегического управления в сфере образования // *Terra Economicus*. 2009. Т. 2. № 2. С. 147–152.
33. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. Цифровой завод: методы дискретно-событийного моделирования и оптимизации производственных характеристик // *Бизнес-информатика*. 2021. Т. 15. № 2. С. 7–20. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
34. Зараменских Е.П. *Архитектура предприятия: учебник для вузов* / Е.П. Зараменских, Д.В. Кудрявцев, М.Ю. Арзуманян; под редакцией Е.П. Зараменских. М.: Юрайт, 2023.
35. Mohayidin M.G., Azirawani N., Kamaruddin N.M., Margono M.I. The application of knowledge management in enhancing the performance of Malaysian universities // *The Electronic Journal of Knowledge Management*. 2007. Vol. 5. No. 3. P. 301–312.
36. Cranfield D.J., Taylor J. Knowledge management and higher education: A UK Case study // *The Electronic Journal of Knowledge Management*. 2008. Vol. 6. No. 2. P. 85–100.
37. Megnounif A., Kherbouche A. Knowledge management promising contribution to university performance: Empirical study based on teachers' opinions // *Journal of Information & Knowledge Management*. 2020. Vol. 19. No. 3. Article 2050022. <https://doi.org/10.1142/S0219649220500227>
38. Chaston I. Knowledge management systems and open innovation in second tier UK universities // *Australian Journal of Adult Learning*. 2012. Vol. 52. No. 1. P. 153–172.
39. Blackman D., Kennedy M. Knowledge management and effective university governance // *Journal of Knowledge Management*. 2009. Vol. 13. No. 6. P. 547–563. <https://doi.org/10.1108/13673270910997187>
40. Ramírez-Córcoles Y., Manzaneque-Lizano M. The relevance of intellectual capital disclosure: Empirical evidence from Spanish universities // *Knowledge Management Research & Practice*. 2015. Vol. 13. P. 31–44. <https://doi.org/10.1057/kmnp.2013.27>
41. Fernández-López S., Rodeiro-Pazos D., Calvo N., Rodríguez-Gulías M.J. The effect of strategic knowledge management on the universities' performance: An empirical approach // *Journal of Knowledge Management*. 2018. Vol. 22. No. 3. P. 567–586. <https://doi.org/10.1108/JKM-08-2017-0376>

42. Tan C.N. Enhancing knowledge sharing and research collaboration among academics: The role of knowledge management // *Higher Education*. 2016. Vol. 71. P. 525–556. <https://doi.org/10.1007/s10734-015-9922-6>
43. Kudryavtsev D., Gavrilova T. From anarchy to system: A novel classification of visual knowledge codification techniques // *Knowledge and Process Management*. 2017. Vol. 24. P. 3–13. <https://doi.org/10.1002/kpm.1509>
44. Гаврилова Т.А., Алсуфьев А.И., Гринберг Э.Я. Визуализация знаний: критика Сент-Галленской школы и анализ современных трендов // *Бизнес-информатика*. 2017. № 3 (41). С. 7–19. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2017.3.7.19>
45. Филатов В.П. Знание // *Большая российская энциклопедия*. Электронная версия. 2016. [Электронный ресурс] <https://bigenc.ru/philosophy/text/1994642> (дата обращения 10.05.2023).
46. Bibi G., Padhi M., Dash S.S. Theoretical necessity for rethinking knowledge in knowledge management literature // *Knowledge Management Research & Practice*. 2021. Vol. 19. No. 3. P. 396–407. <https://doi.org/10.1080/14778238.2020.1774433>
47. Davenport T., Prusak L. *Working knowledge: How organizations manage what they know*. Harvard Business School Press, 2000.
48. Bratianu C. Intellectual capital research and practice: 7 myths and one golden rule // *Management and Marketing*. 2018. Vol. 13. No. 2. P. 859–879. <https://doi.org/10.2478/mmcks-2018-0010>
49. Кулешова А.В., Подвойский Д. Г. Парадоксы публикационной активности в поле современной российской науки: генезис, диагноз, тренды // *Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены*. 2018. № 4. С. 169–210. <https://doi.org/10.14515/monitoring.2018.4.10>
50. Миндели Л.Э., Остапюк С.Ф., Фетисов В.П. Роль мониторинга в стратегическом планировании научно-технологического развития // *Инновации*. 2019. № 3(245). С. 25–32.
51. Курлов А.Б., Петров В.К. *Методология информационной аналитики*. М.: Проспект, 2014.
52. Днепровская Н.В., Шевцова И.В. Открытые образовательные ресурсы: современные перспективы // *Высшее образование в России*. 2019. Т. 28. № 8–9. С. 110–118. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2019-28-8-9-110-118>
53. Самуэльсон П. О чем думают экономисты: Беседы с нобелевскими лауреатами / Под ред. П. Самуэльсона и У. Барнетта. М.: Альпина Паблишер, 2020.
54. Тельнов Ю.Ф., Казаков В.А., Трембач В.М. Разработка системы, основанной на знаниях, для проектирования инновационных процессов создания продукции сетевых предприятий // *Бизнес-информатика*. 2020. Т. 14. № 3. С. 35–53. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.3.35.53>
55. Kidwell J.J., Vander Linde M.K., Johnson L.S. Applying corporate knowledge management practices in higher education // *Educause Quarterly*. 2000. No. 4. P. 28–33.
56. Nonaka I., Toyama R., Hirata T. *Managing flow. A process theory of the knowledge-based firm*. New York: Palgrave Macmillan, 2008.
57. Chan I. Knowledge management hybrid strategy with people, technology and process pillars // *Knowledge Management Strategies and Applications*. 2017. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70072>
58. Maier R. *Knowledge management systems. Information and communication technologies for knowledge management*. Third edition. Springer, 2007.
59. Yang J., Roy S., Goel V. Who engages in explicit knowledge creation after graduation? Evidence from the alumni impact survey of a large Canadian public university // *Studies in Higher Education*. 2022. Vol. 47. No. 1. P. 116–130. <https://doi.org/10.1080/03075079.2020.1732907>
60. Днепровская Н.В., Шевцова И.В. Открытые образовательные ресурсы и цифровая среда обучения // *Высшее образование в России*. 2020. Т. 29. № 12. С. 144–155. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-12-144-155>
61. Титова Л.Н. *Путь успеха и неудач: стратегическое развитие российских вузов*. М.: МАКС Пресс, 2008.
62. Dang Q.T., Jasovska P., Rammal H.G., Schlenker K. Formal-informal channels of university-industry knowledge transfer: The case of Australian business schools // *Knowledge Management Research & Practice*. 2019. Vol. 17. P. 384–395. <https://doi.org/10.1080/14778238.2019.1589395>
63. Petrova G.I., Smokotin V.M., Kornienko A.A., Ershova I.A., Kachalov N.A. Knowledge Management as a Strategy for the Administration of Education in the Research University // *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2015. Vol. 166. P. 451–455.
64. Compagnucci L., Spigarelli F. The third mission of the university: A systematic literature review on potentials and constraints // *Technological Forecasting and Social Change*. 2020. Vol. 161. Article 120284. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120284>
65. Ardito L., Ferraris A., Petruzzelli A.M., Bresciani S., Del Giudice M. The role of universities in the knowledge management of smart city projects // *Technological Forecasting and Social Change*. 2019. Vol. 142. P. 312–321. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.030>
66. Raman L. Application of knowledge management in university research and higher education: An experiment with communities of practice (COP) // *Enhancing Academic Research With Knowledge Management Principles*, IGI Global, 2017. P. 92–114.
67. Chirikov I. Research universities as knowledge networks: the role of institutional research // *Studies in Higher Education*. 2013. Vol. 38. P. 456–469.
68. Grimaldi D., Fernandez V. The alignment of university curricula with the building of a Smart City: A case study from Barcelona // *Technological Forecasting and Social Change*. 2017. Vol. 123. P. 298–306. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.03.011>
69. Тис Д. Получение экономической выгоды от знаний и компетенций // *Инновационное развитие: экономика, интеллектуальные ресурсы, управление знаниями* / под ред. Б.З. Мильнера. М.: Инфра-М, 2009.

70. Arbersman S. The half-life of facts: Why everything we know has an expiration date. Penguin Group, 2012.
71. Новиков Д.А. Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. М.: ЛЕНАНД, 2016.
72. Serenko A., Abubakar A.M. Antecedents and consequences of knowledge sabotage in the Turkish telecommunication and retail sectors // Journal of Knowledge Management. 2022. Vol. 27. No. 5. P. 1409–1435. <https://doi.org/10.1108/JKM-01-2022-0029>
73. Price D.J. Little Science, Big Science. N.Y.: Columbia University Press, 1963.
74. Reinsel D., Gantz J., Rydning J. The digital of the world: From edge to core. 2018. [Электронный ресурс] <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf> (дата обращения 10.05.2023).

Об авторах

Днепровская Наталья Витальевна

доктор экономических наук, доцент;

доцент, департамент бизнес-информатики, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 119049, Москва, ул. Шаболовка, д. 26–28;

профессор, департамент бизнес-информатики, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, 125167, Москва, Ленинградский пр-т, д. 49/2;

E-mail: ndneprovskaya@hse.ru

ORCID: 0000-0002-9600-8474

Шевцова Инесса Витальевна

кандидат экономических наук;

доцент, кафедра математических методов и информационных технологий в управлении, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ломоносовский проспект, д. 27, корпус 4;

E-mail: Shevtsova@spa.msu.ru

ORCID: 0000-0003-1518-6277

A knowledge management system in the strategic development of universities

Natalia V. Dneprovskaya^{a, c}

E-mail: ndneprovskaya@hse.ru

Inessa V. Shevtsova^b

E-mail: Shevtsova@spa.msu.ru

^a HSE University

Address: 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia

^b Lomonosov Moscow State University

Address: 27, build 4, Lomonosov Prospect, Moscow 119991, Russia

^c Financial University under the Government of Russian Federation

Address: 49/2, Leningradskiy Prospect, Moscow 125167, Russia

Abstract

The purpose of this study is a conceptual description of the implementation of knowledge management systems (KMS) as a mechanism for universities' strategic development. Knowledge management (KM) practice from around the world proved the positive influence of KMS on productivity of educational institutions. The theoretical provisions and concept for KMS are determined based on an analysis of international experience of KMS use in higher education (HE). Theoretical provisions consist of 1) the staff activities as an object of KM and knowledge because of these activities, 2) the specificity of HE restrains a transfer of the KM mechanism from business to HE, and 3) the uniqueness of each university determines the structure and content of KMS for strategic development. The KM process in HE is reflected in the Socialization-Externalization-Combination-Internalization (SECI) model, where each stage contains a list of staff activities and a set of digital services. The novelty of the KM process model in HE is that knowledge flows in a wave, not a spiral. In this motion, knowledge passes from uncodified to partly codified and codified form. The study demonstrates that knowledge can go from the stage of partly codified to uncodified for revision, and knowledge flow can stop at any stage. The advantage of the concept we designed is the ability to control the flow of knowledge before it takes the codified form of a document. The digital environment for KM first allows management to control faculty activities at the initial stage of uncodified knowledge through measurement of activities, and then to estimate the knowledge flow itself. The gathered indicators help to make decisions to motivate or restrain faculty. The university management gets a complete picture of faculty activities with knowledge and the intensity of knowledge flow in training courses and educational programs.

Keywords: knowledge flow, knowledge governance, digital environment, knowledge model, metrics

Citation: Dneprovskaya N.V., Shevtsova I.V. (2023) A knowledge management system in the strategic development of universities. *Business Informatics*, vol. 17, no. 2, pp. 20–40. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.20.40

References

1. Kuzminov Y.I., Yudkevich M.M., Altbach P.G. (2022) *Higher education in Russia*. Johns Hopkins University Press.
2. Rogozin D., Solodovnikova O., Ipatova A. (2022) How university teachers view the digital transformation of higher education. *Voprosy Obrazovaniya (Educational Studies Moscow)*, no. 1, pp. 271–300. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2022-1-271-300>
3. Frunzaru V., Vătămănescu E.-M., Gazzola P., Bolisani E. (2018) Challenges to higher education in the knowledge economy: anti-intellectualism, materialism and employability. *Knowledge Management Research & Practice*, vol. 16, pp. 388–401. <https://doi.org/10.1080/14778238.2018.1493368>
4. Ilvonen I., Thalmann S., Manhart M., Sillaber C. (2018) Reconciling digital transformation and knowledge protection: a research agenda. *Knowledge Management Research & Practice*, vol. 16, no. 2, pp. 235–244.
5. Salmi J. (2016) Excellence strategies and the creation of world-class universities. *Matching Visibility and Performance. Global Perspectives on Higher Education* (eds. N.C. Liu, Y. Cheng, Q. Wang). Sense Publishers, Rotterdam. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-773-3_2
6. Nonaka I. (2007) The knowledge-creating company. *Harvard business review*, vol. 85, pp. 162–171.
7. Pershukov V.A., Medovnikov D.S., et al. (2012) *Rosatom shares knowledge*. Moscow: HSE (in Russian).
8. Akaev A., Rudskoy A., Khusainov B., Zeman Z. (2022) Information model for calculating the rate of technical progress. *Digital Transformation and the World Economy. Studies on Entrepreneurship, Structural Change and Industrial Dynamics* (eds. A. Rudskoi, A. Akaev, T. Devezas). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89832-8_2
9. Angelidou M. (2015) Smart cities: A conjuncture of four forces. *Cities*, vol. 47, pp. 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.05.004>
10. Kuzminov Ya., Sorokin P., Froumin I. (2019) Generic and specific skills as components of human capital: New challenges for education theory and practice. *Foresight and STI Governance*, vol. 13, no. 2, pp. 19–41. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2019.2.19.41>
11. Slavin B.B. (2022) Technologies of collective intelligence in the management of business processes of the organization. *Business Informatics*, vol. 16, no. 2, pp. 36–48. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.2.36.48>
12. Independent Evaluation Group (2017) *Higher education for development: an evaluation of the World Bank Group's support (English)*. Sector or thematic evaluation Washington, D.C.: World Bank Group. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/729101493052924041/Higher-education-for-development-an-evaluation-of-the-World-Bank-Group-s-support> (accessed 10 May 2023).
13. ISO (2018) *Knowledge management systems – Requirements*. ISO 30401:2018. Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/68683.html> (accessed 10 May 2023).

14. Deja M. (2019) Information and knowledge management in higher education institutions: the Polish 5 case. *Online Information Review*, vol. 43, no. 7, pp. 1209–1227. <https://doi.org/10.1108/OIR-03-6-2018-0085>
15. Yeh Y.M.C. (2005) The implementation of knowledge management system in Taiwans higher education. *Journal of College Teaching & Learning (TLC)*, vol. 2, no. 9. <https://doi.org/10.19030/tlc.v2i9.1861>
16. Maloshonok N. (2016) How using the Internet and multimedia technology in the learning process correlates with student engagement. *Voprosy Obrazovaniya (Educational Studies Moscow)*, no. 4, pp. 59–83. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2016-4-59-83>
17. Vick T.E., Nagano M.S., Popadiuk S. (2015) Information culture and its influences in knowledge creation: Evidence from university teams engaged in collaborative innovation projects. *International Journal of Information Management*, vol. 35, no. 3, pp. 292–298.
18. Huang M.-H., Chen D.-Z. (2017) How can academic innovation performance in university-industry collaboration be improved? *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 123, pp. 210–215. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.03.024>
19. Al-Jedaiah M. (2020) Knowledge management and e-learning effectiveness: Empirical evidence from Jordanian higher education institutions. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 15, no. 5, pp. 50–62.
20. Altınay F., Altınay M., Dagli G., Altınay Z. (2019) A study of knowledge management systems processes and technology in open and distance education institutions in higher education. *International Journal of Information and Learning Technology*, vol. 36, no. 4, pp. 314–321. <https://doi.org/10.1108/IJILT-02-2019-0020>
21. Dneprovskaya N., Shevtsova I., Bayaskalanova T., Lutoev I. (2016) Knowledge management methods in online course development. Proceedings of the 15th European Conference on e-Learning (ECEL 2016), Charles University, Prague, Czech Republic, 27–28 October 2016, pp. 159–165.
22. Stankosky M. (2005) Advances in knowledge management: University research toward an academic discipline. *Creating the Discipline of Knowledge Management* (ed. M. Stankosky). Elsevier Butterworth-Heinemann, Washington.
23. Vold T., Have H., Kaloudis A. (2020) On work relevance of adult education: A case study narrative. *The Electronic Journal of Knowledge Management*, vol. 18, no. 2, pp. 105–120.
24. Quarchioni S., Paternostro S., Trovarelli F. (2020) Knowledge management in higher education: a literature review and further research avenues. *Knowledge Management Research & Practice*, vol. 20, no. 2, pp. 304–319. <https://doi.org/10.1080/14778238.2020.1730717>
25. Adeinat I.M., Abdulfatah F.H. (2019) Organizational culture and knowledge management processes: case study in a public university. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, vol. 49, no. 1, pp. 35–53. <https://doi.org/10.1108/VJIKMS-05-2018-0041>
26. Lombardi R., Massaro M., Dumay J., Nappo F. (2019) Entrepreneurial universities and strategy: the case of the University of Bari. *Management Decision*, vol. 57, no. 12, pp. 3387–3405. <https://doi.org/10.1108/MD-06-2018-0690>
27. Zanin F., Massaro M., Bagnoli C. (2014) Towards a competitive knowledge management strategy approach in the university setting: The case of ca' Foscari university of Venice. *Building a Competitive Public Sector with Knowledge Management Strategy*, pp. 362–382. IGI Global.
28. Wu J., Tian J., Lu L., Weng C., Xiang J. (2016) Surveys on knowledge management and knowledge creation in a Chinese research university. Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C), pp. 186–193.
29. Jain N., Gupta V. (2019) The impact of knowledge management system on student performance. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, vol. 49, no. 1, pp. 115–135. <https://doi.org/10.1108/VJIKMS-07-2018-0065>
30. Zhou Y. (2019) The knowledge management status and improvement strategy of continuing education in university. *International Journal of Intelligent Information and Management Science*, vol. 8, no. 5, pp. 111–115.
31. Tikhomirov V., Dneprovskaya N. (2022) Knowledge management system as a university digital transformation environment on the case of MESI. *Informatsionnoye obshchestvo (Information Society)*, no. 5, p. 44–57 (in Russian). https://doi.org/10.52605/16059921_2022_05_44
32. Isaev D. (2009) Informatization of strategic management in higher education area. *Terra Economicus*, vol. 2, no. 2, pp. 147–152 (in Russian).
33. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2021) Digital plant: methods of discrete-event modeling and optimization of production characteristics. *Business Informatics*, vol. 15, no. 2, pp. 7–20. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
34. Zaramenskikh Ye., Kudryavtsev D., Arzumanyan M. (2023) *Enterprise architecture: A textbook for universities*. Moscow: Urait (in Russian).
35. Mohayidin M.G., Azirawani N., Kamaruddin N.M., Margono M.I. (2007) The application of knowledge management in enhancing the performance of Malaysian universities. *The Electronic Journal of Knowledge Management*, vol. 5, no. 3, pp. 301–312.
36. Cranfield D.J., Taylor J. (2008) Knowledge management and higher education: A UK Case study. *The Electronic Journal of Knowledge Management*, vol. 6, no. 2, pp. 85–100.
37. Megnounif A., Kherbouche A. (2020) Knowledge management promising contribution to university performance: Empirical study based on teachers' opinions. *Journal of Information & Knowledge Management*, vol. 19, no. 3, article 2050022. <https://doi.org/10.1142/S0219649220500227>
38. Chaston I. (2012) Knowledge management systems and open innovation in second tier UK universities. *Australian Journal of Adult Learning*, vol. 52, no. 1, pp. 153–172.

39. Blackman D., Kennedy M. (2009) Knowledge management and effective university governance. *Journal of Knowledge Management*, vol. 13, no. 6, pp. 547–563. <https://doi.org/10.1108/13673270910997187>
40. Ramírez-Córcoles Y., Manzaneque-Lizano M. (2015) The relevance of intellectual capital disclosure: Empirical evidence from Spanish universities. *Knowledge Management Research & Practice*, vol. 13, pp. 31–44. <https://doi.org/10.1057/kmmp.2013.27>
41. Fernández-López S., Rodeiro-Pazos D., Calvo N., Rodríguez-Gulías M.J. (2018) The effect of strategic knowledge management on the universities' performance: An empirical approach. *Journal of Knowledge Management*, vol. 22, no. 3, pp. 567–586. <https://doi.org/10.1108/JKM-08-2017-0376>
42. Tan C.N. (2016) Enhancing knowledge sharing and research collaboration among academics: the role of knowledge management. *Higher Education*, vol. 71, pp. 525–556. <https://doi.org/10.1007/s10734-015-9922-6>
43. Kudryavtsev D., Gavrilova T. (2017) From anarchy to system: A novel classification of visual knowledge codification techniques. *Knowledge and Process Management*, vol. 24, pp. 3–13. <https://doi.org/10.1002/kpm.1509>
44. Gavrilova T.A., Alsufyev A.I., Grinberg E.Y. (2017) Knowledge visualization: Critique of the St. Gallen School and an analysis of contemporary trends. *Business Informatics*, no. 3 (41), pp. 7–19. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2017.3.7.19>
45. Filatov V.P. (2016) Knowledge. *Great Russian Encyclopedia. Electronic version*. Available at: <https://old.bigenc.ru/philosophy/text/1994642> (accessed 10 May 2023) (in Russian).
46. Bibi G., Padhi M., Dash S.S. (2021) Theoretical necessity for rethinking knowledge in knowledge management literature. *Knowledge Management Research & Practice*, vol. 19, no. 3, pp. 396–407. <https://doi.org/10.1080/14778238.2020.1774433>
47. Davenport T., Prusak L. (1998) *Working knowledge: How organizations manage what they know*. Harvard Business School Press.
48. Bratianu C. (2018) Intellectual capital research and practice: 7 myths and one golden rule. *Management and Marketing*, vol. 13, no. 2, pp. 859–879. <https://doi.org/10.2478/mmcks-2018-0010>
49. Kuleshova A.V., Podvoyskiy D.G. (2018) Paradoxes of publication activity in the field of contemporary Russian science: Genesis, diagnosis, trends. *Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes*, no. 4, pp. 169–210 (in Russian). <https://doi.org/10.14515/monitoring.2018.4.10>
50. Mindeli L.E., Ostapyuk S.F., Fetisov V. (2016) The role of monitoring in the strategic planning of scientific and technological development. *Inovatsii (Innovations)*, no. 3(245), pp. 25–32 (in Russian).
51. Kurlov A.B., Petrov V.K. (2014) *Methodology of information analytics*. Moscow: Prospekt (in Russian).
52. Dneprovskaya N.V., Shevtsova I.V. (2019) Prospects for university's open educational resources. *Vyssee obrazovanie v Rossii (Higher Education in Russia)*, vol. 28, nos. 8–9, pp. 110–118 (in Russian). <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2019-28-8-9-110-118>
53. Samulson P. (2020) *What economists think about: Conversations with Nobel laureates*. Moscow: Alpina Publisher (in Russian).
54. Telnov Yu.F., Kazakov V.A., Trembach V.M. (2020) Developing a knowledge-based system for the design of innovative product creation processes for network enterprises. *Business Informatics*, vol. 14, no. 3, pp. 35–53. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.3.35.53>
55. Kidwell J.J., Vander Linde K.M., Johnson S.L. (2000) Applying corporate knowledge management practices in higher education. *Educause Quarterly*, no. 4, pp. 28–33.
56. Nonaka I., Toyama R., Hirata T. (2008) *Managing flow. A process theory of the knowledge-based firm*. New York: Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/9780230583702>
57. Chan I. (2017) Knowledge management hybrid strategy with people, technology and process pillars. *Knowledge Management Strategies and Applications*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70072>
58. Maier R. (2007) *Knowledge management systems. Information and communication technologies for knowledge management*. Third edition. Springer.
59. Yang J., Roy S., Goel V. (2022) Who engages in explicit knowledge creation after graduation? Evidence from the alumni impact survey of a large Canadian public university. *Studies in Higher Education*, vol. 47, no. 1, pp. 116–130. <https://doi.org/10.1080/03075079.2020.1732907>
60. Dneprovskaya N.V., Shevtsova I.V. (2020) Open educational resources in the development of digital learning environment. *Vyssee obrazovanie v Rossii (Higher Education in Russia)*, vol. 29, no. 12, pp. 144–155 (in Russian). <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-12-144-155>
61. Titova L.N. (2008) *The path of success and failure: the strategic development of Russian universities*. Moscow: MAKSPress (in Russian).
62. Dang Q.T., Jasovska P., Rammal H.G., Schlenker K. (2019) Formal-informal channels of university-industry knowledge transfer: the case of Australian business schools. *Knowledge Management Research & Practice*, vol. 17, pp. 384–395. <https://doi.org/10.1080/14778238.2019.1589395>
63. Petrova G.I., Smokotin V.M., Kornienko A.A., Ershova I.A., Kachalov N.A. (2015) Knowledge management as a strategy for the administration of education in the research university. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, vol. 166, pp. 451–455. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.552>
64. Compagnucci L., Spigarelli F. (2020) The third mission of the university: A systematic literature review on potentials and constraints. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 161, article 120284. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120284>
65. Ardito L., Ferraris A., Petruzzelli A.M., Bresciani S., Del Giudice M. (2019) The role of universities in the knowledge management of smart city projects. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 142, pp. 312–321. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.030>

66. Raman L. (2017) Application of knowledge management in university research and higher education: An experiment with communities of practice (COP). *Enhancing Academic Research with Knowledge Management Principles*, IGI Global, pp. 92–114.
67. Chirikov I. (2013) Research universities as knowledge networks: The role of institutional research. *Studies in Higher Education*, vol. 38, pp. 456–469.
68. Grimaldi D., Fernandez V. (2017) The alignment of university curricula with the building of a Smart City: A case study from Barcelona. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 123, pp. 298–306. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.03.011>
69. Teece D.J. (2009) Obtaining economic benefits from knowledge and competencies. *Innovative development: economics, intellectual resources, knowledge management* (ed. Z. Milner), pp. 244–262. Moscow: Infra M (in Russian).
70. Arbersman S. (2012) *The Half-Life of facts: Why everything we know has an expiration date*. Penguin Group.
71. Novikov D.A. (2016) *Cybernetics: navigator. History of cybernetics, current state, development prospects*. Moscow: Lenand (in Russian).
72. Serenko A., Abubakar A.M. (2022) Antecedents and consequences of knowledge sabotage in the Turkish telecommunication and retail sectors. *Journal of Knowledge Management*, vol. 27, no. 5, pp. 1409–1435. <https://doi.org/10.1108/JKM-01-2022-0029>
73. Price D.J. (1963) *Little Science, Big Science*. N.Y.: Columbia University Press.
74. Reinsel D., Gantz J., Rydning J. (2018) *The digital of the world: From edge to core*. Available at: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf> (accessed 10 May 2023).

About the authors

Natalia V. Dneprovskaya

Dr. Sci. (Econ);

Associate Professor, Department of Business Informatics, Graduate School of Business, HSE University, 26–28, Shabolovka Street, Moscow 119049, Russia;

Professor, Department of Business Informatics, Financial University under the Government of Russian Federation, 49/2, Leningradskiy Prospect, Moscow 125167, Russia;

E-mail: ndneprovskaya@hse.ru

ORCID: 0000-0002-9600-8474

Inessa V. Shevtsova

Cand. Sci. (Econ);

Associate Professor, Department of Mathematical Methods and Information Technologies in Management, School of Public Administration, Lomonosov Moscow State University, 27, build 4, Lomonosov Prospect, Moscow 119991, Russia;

E-mail: Shevtsova@spa.msu.ru

ORCID: 0000-0003-1518-6277

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.41.54

Технология поддержки принятия решений продавца на маркетплейс в условиях конкуренции*

М.Г. Матвеев 

E-mail: mgmatveev@yandex.ru

Н.А. Алейникова 

E-mail: balbashovan@mail.ru

М.Д. Титова 

E-mail: 29_06_titova@mail.ru

Воронежский государственный университет
Адрес: Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1

Аннотация

Статья посвящена проблеме повышения эффективности работы электронной торговой площадки типа маркетплейс. Субъектами площадки являются покупатели и продавцы, объектами – совокупности однородных товаров. Актуальная задача заключается в разработке и автоматизации сервисов поддержки принятия решений для продавцов, которые являются основными плательщиками для маркетплейс. Эффективность работы электронной торговой площадки будет зависеть от адекватности товарных предложений продавцов. Выбор удачной стратегии (предложения) продавцом в условиях конкуренции будет влиять не только на потенциальную прибыльность, но и на ликвидность предложения, то есть на возможность совершения сделки. В работе разрабатываются математические модели для поддержки принятия решений продавцом при формировании предложения. Отличительной особенностью предлагаемых моделей является ориентация как на покупательский спрос и возможности продавца, заданные в форме векторов нечетких характеристических свойств товара, так и на наличие конкурентов на торговой площадке. Для описания конкуренции предлагается аппарат теории игр, а именно – нормальная форма игры с биматричной моделью и двумя игроками: продавцом – заявителем сервиса и совокупностью остальных продавцов. Для сопоставления спроса и предложения, а также для оценки возможности совершения сделки используется покомпонентный матчнинг векторов спроса и допустимого предложения с дальнейшим агрегированием покомпонентных соответствий с использованием интеграла Шоке.

* Статья опубликована при поддержке Программы НИУ ВШЭ «Университетское партнерство»

Ключевые слова: электронная торговая площадка, маркетплейс, однородный товар, лингвистическая переменная, оператор агрегирования, интеграл Шоке, биматричная игра, решение в смешанных стратегиях

Цитирование: Матвеев М.Г., Алейникова Н.А., Титова М.Д. Технология поддержки принятия решений продавца на маркетплейс в условиях конкуренции // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. № 2. С. 41–54. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.41.54

Введение

Развитие электронной коммерции закономерно сопровождается повышением уровня автоматизации бизнес-процессов. При этом акцент смещается от автоматизации рутинных процессов документооборота в сторону автоматизации более сложных процессов поддержки принятия решений субъектами электронной коммерции [1–3]. Важным аспектом работы продавца при формировании товарного предложения является показатель ликвидности товара, задаваемый мерой возможности совершения сделки с покупателем при заданном товарном предложении [4]. Поддержка покупателя при поиске подходящих товаров и продавцов уже получает определенное развитие, примеры соответствующих инструментов можно найти в [5]. Автоматизация подобного рода бизнес-процессов для продавца только зарождается и инструментов, помогающих продавцу не так много [5]. Наша работа направлена на повышение ликвидности товарного предложения продавца на маркетплейс. Предлагается числовая мера ликвидности товарного предложения и математический аппарат формирования такого предложения (стратегии продавца), которое в условиях конкуренции будет иметь высокую ликвидность.

В работах [6–9] был предложен математический аппарат для формализации деятельности субъектов электронной торговой площадки (ЭТП) типа маркетплейс, основанный на матчинге спроса и допустимого предложения [10]. Покупательский спрос и допустимые предложения продавца задаются параметрически в рамках единого товарного классификатора в форме нечетких характеристических свойств однородной группы товаров. Вектор значений характеристических свойств товара задает его дифференциацию в группе однородных товаров по совокупности характеристик (цена, качество и другие характерные свойства), заданных как в числовом, так и категориальном формате. Основ-

ным результатом проведенных исследований стала числовая мера ликвидности, выраженная в форме соответствия спроса и допустимого предложения продавца по заданной совокупности их характеристических свойств, а не только по цене, как это делается в большинстве случаев. Появилась возможность сравнения на числовой шкале соответствий различных товарных предложений условиям рынка и выбора предложения с лучшим соответствием.

В работах [6–9] не учитывалось то, что продавец, выдвигая свои предложения, находится в условиях конкуренции и предложения других продавцов могут существенно влиять на ликвидность. Конкуренция продавцов на рынке интернет-трейдинга адекватно описывается теоретико-игровыми моделями, примеры которых представлены в работах [11–18]. При разработке теоретико-игровой модели ключевыми задачами является задание условий равновесия, интерпретация и метод расчета элементов платежных матриц, а также интерпретация стратегий игроков. В указанных работах рассматривается теоретико-игровое моделирование дуополии с выбором равновесного решения по Нэшу и интерпретацией исхода игры в виде прибыли. Характерной особенностью этих работ является выбор стратегий не только в виде цены товара, но и с учетом его качества. Другие характеристические свойства товара при этом не учитываются.

Мы полагаем, что вычисленная максимальная прибыль не всегда достижима в условиях реального рынка. Такая сделка может не произойти по причине несоответствия некоторых свойств оптимального по цене товарного предложения спросу или допустимому предложению продавца. Более реалистичная цель — компромисс между максимизацией потенциальной прибыли и возможностью совершения сделки. Поиск такого компромисса состоит в максимизации соответствия спроса и допустимого товарного предложения по вектору характеристических свойств товара, включающего характеристику цены.

Игровая ситуация возникает в форме конкуренции продавца с совокупностью других продавцов, работающих на рынке ЭТП и рассматриваемых как обобщенный конкурент. Стратегии игры задаются допустимыми вариантами товарного предложения продавца, представленными соответствующими векторами характеристических свойств. Полученное соответствие интерпретируется как субъективная вероятность совершения сделки и предлагается в качестве итога игры при теоретико-игровом моделировании конкуренции на рынке дуополии.

Цель исследования – получение теоретико-игровых моделей, позволяющих продавцу формировать рациональные предложения из допустимой совокупности взаимозаменяемых видов однородного товара.

1. Формализация деятельности субъектов электронной торговой площадки

Пусть объектами торговли на маркетплейс являются множества однородных товаров. Однородный товар представляет собой совокупность своих взаимозаменяемых типов, например, совокупность легковых автомобилей различных марок. Типы различаются значениями характеристических свойств данного товара, заданных вектором значений соответствующих параметров. В качестве таких параметров могут быть коммерческие, технические и другие возможные свойства или характеристики товара. Пусть j – индекс типа однородного товара ($j = 1, J$), его вектор характеристических свойств будем обозначать как

$$q_j = (q_j^1; \dots; q_j^n; \dots; q_j^N), \quad (1)$$

каждая координата n которого может принимать значения как на количественной, так и на качественной шкале.

Покупательский спрос на какой-то однородный товар можно также формализовать в виде вектора характеристик товара g , структурно идентичного вектору q . Как правило, желания покупателей расплывчаты, приблизительны. Например, покупателю нужен автомобиль с мощностью двигателя от 100 до 150 л.с. со стоимостью из заданного покупателем ценового интервала. Причем какие-то значения из этих интервалов более желательны, какие-то менее. Такой спрос покупателя может быть обеспечен за счет многообразия однородных

товаров с различными характеристиками. Координаты вектора покупательского спроса удобно представить лингвистическими переменными [19]

$$\tilde{g}_k = (\tilde{g}_k^1; \dots; \tilde{g}_k^n; \dots; \tilde{g}_k^N), \quad (2)$$

где $k = \overline{1, K}$ – индекс покупателя.

Имена лингвистических переменных совпадают с именами соответствующих характеристических параметров описания типа однородного товара. Каждая переменная имеет кусочно-линейные функции принадлежности $f_g(x) \in [0; 1]$, носители которых $-x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$, отражают возможности выбора покупателя, а значения функции – уровень его предпочтения [8].

Предложение продавца (стратегия) представляет конкретный тип товара и задается вектором вида (1). Требуется так подобрать значения координат вектора q_j , чтобы обеспечить высокую ликвидность сделки. При этом надо обращать внимание не только на покупательский спрос, но и на допустимые возможности самого продавца. Значения параметров вектора q_j ограничены финансовыми и товарными запасами продавца, его функциональными возможностями. Предполагается, что продавец в состоянии оценить свои функционально-стоимостные ограничения (ФСО) и стремится так сформировать свое предложение, чтобы получить максимум соответствия этим ограничениям. ФСО задаются как допустимые интервалы значений параметров с построением над каждым интервалом функции принадлежности, отражающей предпочтения его значений. Тогда ограничения продавца можно представить следующим вектором лингвистических переменных

$$\tilde{q} = (\tilde{q}^1; \dots; \tilde{q}^n; \dots; \tilde{q}^N) \quad (3)$$

с теми же именами нечетких характеристик, что и у вектора спроса, но со своими функциями принадлежности $f_{\tilde{q}^n}(x) \in [0; 1]$. Заметим, в частности, что, формируя таким образом функцию принадлежности цены, можно задавать стремление продавца дорого продать товар, т.е. получить максимальную прибыль.

Поскольку отследить взаимодействие между продавцом и каждым покупателем громоздкая задача, предлагается перейти к обобщенному покупательскому спросу в форме (2). Функцию принадлежности по каждой обобщенной координате вектора (2) можно найти в виде взвешенной суммы:

$$f_{\tilde{g}^n}(x) = \sum_{k=1}^K f_{g_k^n}(x) \cdot w_k \in [0; 1]; \quad n = \overline{1, N}, \quad (4)$$

где $w_k = \frac{v_k}{v}$ – весовой коэффициент для k -го покупателя, вычисляемый как отношение объема товара, запрашиваемого k -м покупателем, к общему объему товарного спроса $v = \sum_{k=1}^K v_k$. Далее будем рассматривать взаимодействие продавца с обобщенным покупательским спросом, а не конкретным покупателем. Правомерность такого подхода показана в [8].

Область значений компонент вектора предложений продавца, одновременно удовлетворяющих обобщенному спросу и ФСО, определяется как пересечение графиков соответствующих функций принадлежности каждой компонентной пары вектора спроса и вектора ФСО [6]. Обозначим этот вектор через \tilde{s} . Функция принадлежности пересечения по компоненте n определяется по формуле

$$f_{\tilde{s}}^n(x) = \min(f_{\tilde{g}}^n(x); f_{\tilde{q}}^n(x)). \quad (5)$$

Графическая иллюстрация возможного пересечения показана на рис. 1.

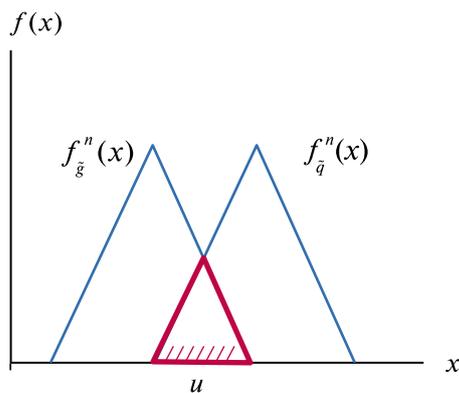


Рис. 1. Графическая иллюстрация примера определения функции принадлежности по компоненте n вектора \tilde{s} .

Носитель $u \subseteq x$ функции $f_{\tilde{s}}^n(x)$ определяет допустимые значения n -го свойства товара, значения функции $f_{\tilde{s}}^n(x) \subseteq [0; 1]$ – степень соответствия допустимых значений свойств обобщенному спросу и ФСО продавца. Границы носителя функции, в рамках которых продавец выбирает допустимые значения n -го свойства товара, вычисляются по формулам

$$L(f_{\tilde{s}}^n) = \max(L(f_{\tilde{g}}^n); L(f_{\tilde{q}}^n)), \quad (6)$$

$$R(f_{\tilde{s}}^n) = \min(R(f_{\tilde{g}}^n); R(f_{\tilde{q}}^n)), \quad (7)$$

где L и R – левая и правая граница носителей соответственно.

Подставляя значение x^* n -го свойства конкретного типа товара в функцию (5), получаем степень локального соответствия $f_{\tilde{s}}^n(x^*)$ по n -му свойству. Для получения соответствия товара допустимым значениям по всей совокупности свойств необходимо агрегировать локальные соответствия:

$$f_{\tilde{s}} = \text{agr}_n[f_{\tilde{s}}^n(x^*)] \in [0; 1], \quad (8)$$

где agr – оператор агрегирования локальных соответствий.

Выбор оператора агрегирования осуществляется с учетом особенностей предметной области и соответствующих свойств различных операторов. Обзор операторов агрегирования, их свойства и рекомендации по применению можно найти в работах [20–23]. В частности, необходимым свойством оператора агрегирования является выражение $\text{agr}: [0, 1]^n \rightarrow [0, 1]$.

В качестве оператора агрегирования предлагается дискретный интеграл Шоке по нечеткой мере [24], который применяется, когда на результат агрегирования влияет величина каждого из свойств товара, а также при необходимости учета взаимодействия свойств друг с другом. Примером является взаимодействие цены и качества товара. Обозначим множество свойств товара как множество их индексов – $M = \{n_i\}, i = 1, 2, \dots, N$ и пусть m – произвольное подмножество M . Учет взаимодействия свойств возможен благодаря тому, что при вычислении интеграла Шоке используется λ -нечеткая мера Сугено, которая задается на множестве M и выражает субъективный вес или значимость каждого подмножества свойств. Она определяется следующим образом [25]

$$\varphi(m) = \frac{\prod_{n \in m} (1 + \lambda \varphi_n) - 1}{\lambda} \in [0; 1], \quad m \subseteq M, \quad (9)$$

где φ_n – коэффициенты важности (веса) отдельно взятых свойств, которые можно определить либо с помощью специальных методов, либо задать экспертным путем [26–29].

Значение λ находится решением следующего уравнения

$$\lambda + 1 - \prod_{n=1}^N (1 + \lambda \varphi_n) = 0, \quad (10)$$

удовлетворяющего условиям $\lambda > -1, \lambda \neq 0$.

Тогда интеграл Шоке для нахождения агрегированного соответствия f_s рассчитывается следующим образом

$$\begin{aligned} f_s &= \operatorname{agr}_n [f_s^n(x^*)] = \\ &= \sum_{n=1}^N (f_s^{(n)}(x^*) - f_s^{(n-1)}(x^*)) \times \\ &\times \varphi(m / f_s^i(x^*) \geq f_s^{(n)}(x^*), i \in m), \quad (11) \end{aligned}$$

где $f_s^{(1)}(x^*), f_s^{(2)}(x^*), \dots, f_s^{(N)}(x^*)$ — перестановка элементов $f_s^1(x^*), f_s^2(x^*), \dots, f_s^N(x^*)$ такая, что

$$f_s^{(1)}(x^*) \leq f_s^{(2)}(x^*) \leq \dots \leq f_s^{(N)}(x^*), f_s^{(n)}(x^*) = 0.$$

Будем считать, что при $f_s = 0$ сделка не состоится, а при $f_s = 1$ сделка состоится обязательно. Тогда соответствие $f_s \in [0; 1]$ можно интерпретировать как субъективную вероятность совершения сделки, то есть числовую меру ликвидности. Понятие субъективной вероятности (далее вероятность), основанное на экспертном суждении и использовании математических методов обработки этого суждения, широко используется в экономических приложениях, например, [30, 31].

В дальнейшем вероятность сделки для произвольного продавца по j -му конкретному товару, вычисленную по формуле (8), будем обозначать через p_j и учитывать, что p_j является функцией от стратегии q_j продавца (конкретного его предложения) и рассматривается как мера ликвидности товарного предложения.

2. Игровая модель выбора предложения продавца на маркетплейс в условиях конкуренции

До этого мы определяли вероятность сделки для продавца при условии, что на рынке присутствует единственный продавец. Присутствие на рынке других продавцов-конкурентов может существенно изменить эту вероятность.

Рассмотрим взаимодействие продавца, заявителя сервиса, с совокупностью остальных продавцов некоторого однородного товара. Пусть альтернативные варианты товарного предложения (стратегии) продавца представлены соответствующими векторами с различными значениями характери-

стических свойств однородного товара. Выбор на подмножестве альтернативных стратегий должен производиться с учетом конкурентных предложений совокупности остальных продавцов. Если вся совокупность продавцов на ЭТП достаточно велика, то выбранная стратегия одного, не доминирующего по объему продавца, практически не окажет влияния на выбор продавцов из совокупности. Наоборот, обобщенное предложение совокупности продавцов будет существенно влиять на вероятность сделки одного продавца. Продавец выбирает свою стратегию на некоторый продолжительный временной промежуток, в течение которого обобщенное предложение совокупности продавцов изменяется случайным образом, что обуславливает игровую ситуацию, соответствующую условиям биматричной игры.

Рассматриваются два игрока: продавец, заявитель сервиса, со своим набором стратегий $(q_j, j=1, J)$ и некий обобщенный продавец, составленный из совокупности продавцов, со своими стратегиями, представленными вариантами обобщенного предложения $(\hat{q}_t, t=1, T)$.

Платежная матрица продавца-заявителя представлена вероятностями сделок p_{jt} . Платежная матрица обобщенного продавца представлена его вероятностями сделок \hat{p}_{jt} . Вероятности \hat{p}_{jt} могут определяться следующим образом. Выполняется покомпонентное обобщение предложений продавцов из совокупности. Предполагая отсутствие доминирования отдельных продавцов на ЭТП, обобщение по каждой компоненте векторов предложений определяется как среднее значение. Выполняется матчнинг обобщенного предложения и обобщенного спроса по каждой компоненте, аналогично тому, как это делалось для отдельного продавца и обобщенного спроса. Результаты полученных соответствий агрегируются по формуле (8) с помощью интеграла Шоке (11). Агрегированные соответствия рассматриваются как вероятности \hat{p}_{jt} обобщенного предложения, которые не зависят от предложений продавца-заявителя. Т.е. элементы $\hat{p}_{jt} = \hat{p}_{jt}$.

Формирование обобщенных стратегий осуществляется случайным образом в предположении случайного характера величин характеристических свойств. По выборке значений величин характеристических свойств предложений совокупности продавцов определяется среднее и стандартное отклонение каждого обобщенного свойства. Тогда набор стратегий, например, в предположении о

нормальности распределений случайных величин, можно получить с помощью стандартного генератора случайных чисел.

Вероятность p_{ji} сделки для продавца-заявителя в условиях конкуренции очевидно является функцией, зависящей как от вероятности совершения им сделки p_j без учета конкуренции, так и от вероятностей \hat{p}_{ji} , то есть $p_{ji} = p_{ji}(p_j; \hat{p}_{ji})$. При этом полагаем, что если вероятность \hat{p}_{ji} продажи товара для обобщенного продавца меньше аналогичной вероятности p_j для продавца-заявителя, то покупатель купит его у продавца-заявителя с вероятностью $p_{ji}(p_j; \hat{p}_{ji}) = p_j$. Если же вероятность продажи товара обобщенным продавцом превосходит p_j для продавца-заявителя, то величина p_j должна уменьшиться, так как, скорее всего, покупатели предпочтут товары совокупности продавцов с более привлекательными значениями характеристик. Вероятность продажи в этом случае для продавца-заявителя можно определять, пользуясь следующими рассуждениями. Рассмотрим полную группу несовместных событий, включающую три ситуации. Первая, когда покупатель купит товар у обобщенного продавца с вероятностью \hat{p}_{ji} , вторая, когда товар будет куплен у продавца-заявителя (эту вероятность нам надо найти, $p_{ji}(p_j; \hat{p}_{ji})$), и третья, когда товар не будет куплен ни у обобщенного продавца, ни у продавца-заявителя. Вероятность последней ситуации можно определить как $(1 - p_j)(1 - \hat{p}_{ji})$. Из условия нормировки

$$p_{ji} + \hat{p}_{ji} + (1 - p_j)(1 - \hat{p}_{ji}) = 1 \tag{13}$$

находим

$$\begin{aligned} p_{ji} &= 1 - \hat{p}_{ji} - (1 - p_j)(1 - \hat{p}_{ji}) = \\ &= p_j - p_j \hat{p}_{ji} = p_j(1 - \hat{p}_{ji}). \end{aligned} \tag{14}$$

Тогда вероятность сделки для продавца-заявителя в условиях конкуренции

$$p_{ji}(p_j; \hat{p}_{ji}) = \begin{cases} p_j - p_j \hat{p}_{ji}, & p_j \leq \hat{p}_{ji}, \\ p_j, & p_j > \hat{p}_{ji}. \end{cases} \tag{15}$$

Например, у продавца-заявителя вероятность продажи 0,21, у обобщенного продавца 0,65. Тогда вероятность продажи в условиях конкуренции у продавца-заявителя

$$p_{ji}(0,21; 0,65) = 0,21 \cdot (1 - 0,65) = 0,0735.$$

Таким образом, предполагается, что заданы конечные множества стратегий продавца-заявителя

q_j и обобщенного продавца \hat{q}_j . Значения функции выигрышей заданы в виде биматрицы с элементами $A_{ji} = (p_{ji}, \hat{p}_{ji})$. Решение задачи состоит в рациональном выборе стратегии (предложения) продавца-заявителя при случайном изменении стратегий обобщенного продавца.

В качестве критерия рациональности будем рассматривать концепцию равновесия Нэша [32, 33]. Набор смешанных стратегий $q^* = (q_j^*; \hat{q}_j^*)$ называется ситуацией равновесия Нэша в смешанных стратегиях, если выбор любой стороной смешанной стратегии, отличной от той, которая в q^* , приводит к одному из неравенств

$$V_1(p_{ji}; \hat{p}_{ji}^*) \leq V_1(p_{ji}^*; \hat{p}_{ji}^*) \tag{16}$$

или

$$V_2(p_{ji}^*; \hat{p}_{ji}^*) \leq V_2(p_{ji}^*; \hat{p}_{ji}^*). \tag{17}$$

где V_1, V_2 – математические ожидания выигрышей продавца-заявителя и обобщенного продавца соответственно.

Приведенные неравенства говорят о том, что отклонение от ситуации равновесия одной стороной не может увеличить ее выигрыш.

3. Численный пример

На примере одного продавца-заявителя и трех покупателей, вычислим равновесную смешанную стратегию продавца-заявителя. Пусть однородный товар характеризуется тремя параметрами (свойствами). Значения параметров, характеризующих ФСО продавца-заявителя, заданы в виде треугольных нечетких чисел в таблице 1 с указанием левой границы носителя, моды и правой границы носителя соответственно. Носитель нормирован в интервале от 0 до 1.

Таблица 1.

ФСО продавца-заявителя, заданные в виде треугольных нечетких чисел

1 параметр	2 параметр	3 параметр
(0,4; 1; 1)	(0,2; 0,4; 1)	(0,5; 1; 1)

Для покупателей исходные данные приведены в таблице 2.

Для определения значений функции принадлежности обобщенного покупательского спроса по каждому параметру по отдельности воспользуемся

Таблица 2.

**Характеристики покупательского спроса,
заданные треугольными нечеткими числами**

Покупатель	Объем товара, запрашиваемого покупателем	1 параметр	2 параметр	3 параметр
1	10	(0,2; 0,4; 1)	(0,2; 0,5; 1)	(0; 0,4; 0,6)
2	4	(0,2; 0,6; 1)	(0,5; 1; 1)	(0,4; 0,4; 1)
3	6	(0,2; 0,2; 0,8)	(0,2; 0,6; 1)	(0; 0; 1)

формулой (4). Для этого разобьем интервал $[0, 1]$ на 10 частей и в каждой точке определим значение функции принадлежности обобщенного покупательского спроса $f_{\tilde{s}}^n(x)$, $n=1,3$.

Например, при $x = 0,3$ значение функции принадлежности по первому параметру для первого покупателя равно 0,5, для второго 0,25, для третьего 0,833. Веса $w_1 = 10 : (10 + 4 + 6) = 0,5$, $w_2 = 0,2$, $w_3 = 0,3$. Тогда по формуле (4)

$$f_{\tilde{s}}(0,3) = 0,5 \cdot 0,5 + 0,25 \cdot 0,2 + 0,833 \cdot 0,3 = 0,55.$$

На рис. 2 представлено графическое изображение функции принадлежности для обобщенного спроса по каждому параметру.

Далее находим границы и функции принадлежности компонент нечеткого вектора предложений продавца \tilde{s} , одновременно удовлетворяющих обобщенному спросу и ФСО по формулам (5)–(7). Графики функций принадлежности по каждому параметру $f_{\tilde{s}}^n(x)$, $n=1,3$ представлены на рис. 3.

Пусть продавец-заявитель предлагает три товара (стратегии) с параметрами, записанными в виде векторов, координаты которых нормированы $q_1 = (0,5; 0,4; 0,8)$, $q_2 = (0,4; 0,6; 0,9)$, $q_3 = (0,8; 0,5; 0,5)$. Тогда, подставляя соответствующие координаты в функции $f_{\tilde{s}}^n(x)$, $n=1,3$, находим локальные соответствия $f_{\tilde{s}}^n(x)$, $n=1,3$. Для первой стратегии получим вектор локальных соответствий $(0,167; 0,483; 0,1267)$, для второй – $(0; 0,267; 0,725)$, для третьей – $(0,267; 0,725; 0)$.

Агрегируем локальные соответствия с помощью интеграла Шоке по формулам (9)–(11). Для определения из уравнения (10) значения λ , зададим коэффициенты важности параметров товара равными $\varphi_1 = 0,3$, $\varphi_2 = 0,6$, $\varphi_3 = 0,2$. Тогда уравнение (10) примет вид

$$\lambda + 1 - (1 + \lambda \cdot 0,3) \cdot (1 + \lambda \cdot 0,6) \cdot (1 + \lambda \cdot 0,2) = 0,$$

при условиях $\lambda > -1$, $\lambda \neq 0$. Корень уравнения $\lambda = -0,286$.

Найдем интеграл Шоке для первой стратегии продавца-заявителя. Упорядочим координаты

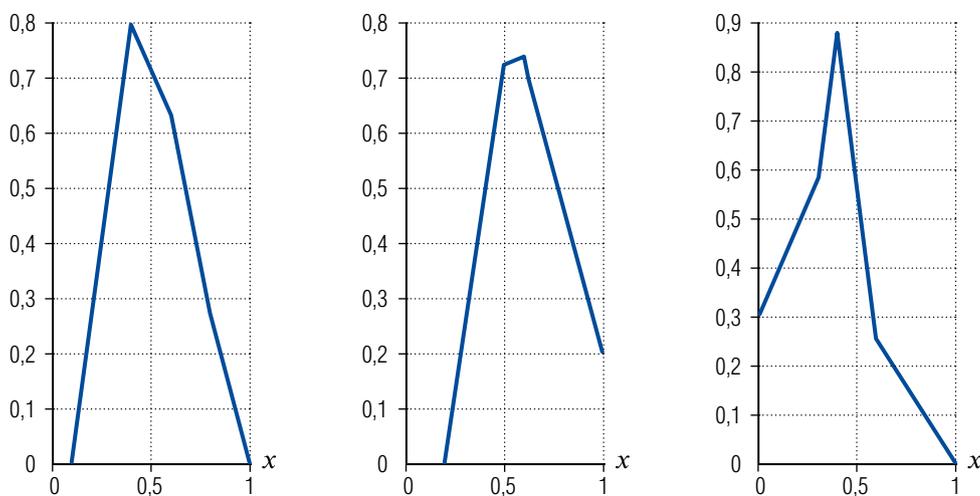


Рис. 2. Графическое представление функции принадлежности обобщенного спроса по каждому параметру.

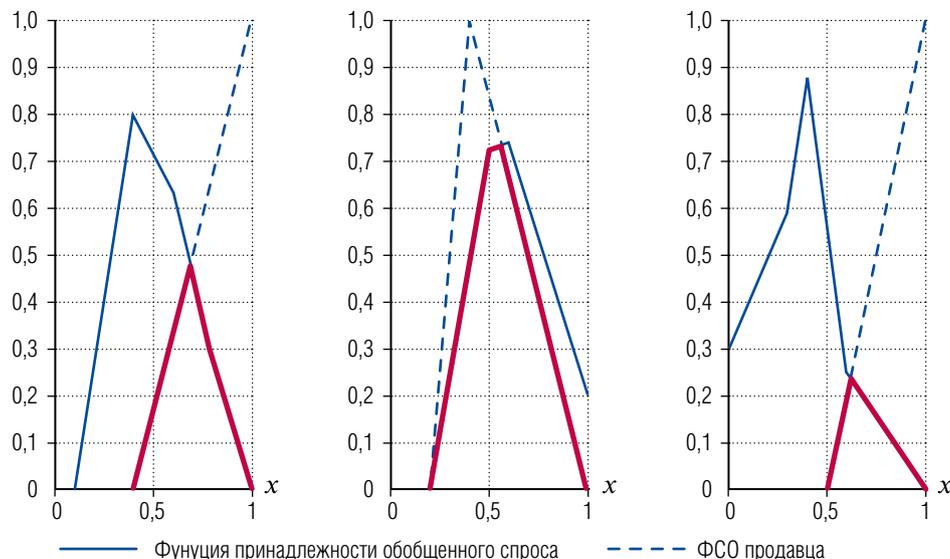


Рис. 3. Графическое представление функций принадлежности пересечения обобщенного спроса и ФСО продавца по каждому параметру.

вектора локальных соответствий по возрастанию $f_s^{(1)} = f_s^3 = 0,1267$, $f_s^{(2)} = f_s^1 = 0,167$, $f_s^{(3)} = f_s^2 = 0,483$. Тогда

$$f_s = (f_s^{(1)} - f_s^{(0)}) \cdot \varphi(\{1, 2, 3\}) + (f_s^{(2)} - f_s^{(1)}) \cdot \varphi(\{1, 2\}) + (f_s^{(3)} - f_s^{(2)}) \cdot \varphi(\{2\}),$$

где

$$\varphi(\{1, 2, 3\}) = \frac{(1 - 0,286 \cdot 0,3) \cdot (1 - 0,286 \cdot 0,6) \cdot (1 - 0,286 \cdot 0,2) - 1}{-0,286} = 1$$

(формула (9));

$$\varphi(\{1, 2\}) = \frac{(1 - 0,286 \cdot 0,3) \cdot (1 - 0,286 \cdot 0,6) - 1}{-0,286} = 0,8485;$$

$$\varphi(\{2\}) = 0,6.$$

В результате

$$f_s = (f_s^{(1)} - f_s^{(0)}) \cdot \varphi(\{1, 2, 3\}) + (f_s^{(2)} - f_s^{(1)}) \cdot \varphi(\{1, 2\}) + (f_s^{(3)} - f_s^{(2)}) \cdot \varphi(\{2\}) = (0,1267 - 0) \cdot 1 + (0,167 - 0,1267) \cdot 0,8485 + (0,483 - 0,167) \cdot 0,6 = 0,35.$$

Аналогично, для второй стратегии интеграл Шоке равен $f_s = 0,41$, для третьей — $f_s = 0,501$.

Получим вероятности сделки для продавца-заявителя по каждому товару:

$$p_1 = 0,35, p_2 = 0,41, p_3 = 0,501. \quad (18)$$

Теперь рассмотрим обобщенного продавца — конкурентов для продавца-заявителя, предлагающих однородный товар. Предположим, что у обобщенного продавца три стратегии $\hat{q}_t, t=1,3$, а вероятности сделки для каждой из них $\hat{p}_1 = 0,414$, $\hat{p}_2 = 0,374$, $\hat{p}_3 = 0,264$.

Вероятности (18) для продавца-заявителя были получены при условии отсутствия конкуренции. В условиях конкуренции для продавца-заявителя необходимо найти значения функции (15), которые подставляются в качестве его выигрышей в биматрицу.

Так как $p_1 = 0,35 < \hat{p}_1 = 0,414$, то по формуле (15) $p_{11} = 0,35 - 0,35 \cdot 0,414 = 0,205$, в то же время $p_{13} = 0,35$, так как $p_1 = 0,35 > \hat{p}_3 = 0,264$. Аналогично рассчитываются остальные выигрыши продавца-заявителя.

В результате биматричная игра примет вид

$$\begin{pmatrix} & \hat{q}_1 & \hat{q}_2 & \hat{q}_3 \\ q_1 & (0,205; 0,414) & (0,219; 0,374) & (0,35; 0,264) \\ q_2 & (0,240; 0,414) & (0,41; 0,374) & (0,41; 0,264) \\ q_3 & (0,501; 0,414) & (0,501; 0,374) & (0,501; 0,264) \end{pmatrix}. \quad (19)$$

Заметим, что нас будет интересовать только выбор стратегии продавца-заявителя.

Решение биматричной игры с помощью методики нахождения ситуации равновесия по Нэшу в смешанных стратегиях [32, 33], дает равновесную

ситуацию в чистых стратегиях для продавца-заявителя (1; 0; 0) с ценой игры 0,501. То есть продавцу-заявителю следует выставить на продажу первый товар с характеристиками $q_1 = (0,5; 0,4; 0,8)$, вероятность продажи с учетом конкуренции будет равна 0,501. У обобщенного продавца равновесие достигается в чистых стратегиях (1; 0; 0) с ценой игры 0,414.

Необходимо отметить, что методика вычисления равновесия по Нэшу достаточно громоздка и ее вычислительная сложность возрастает с ростом размерности решаемых задач.

Приведенный результат может быть получен с использованием более простого приема. В [34] показано, что в игре 2×2 тот же результат можно получить каждой стороне исходя только из матриц своих выигрышей. Для этого необходимо разбить биматричную игру на две обычные матричные игры с нулевой суммой. Каждый игрок может рассчитать из матрицы своих выигрышей оптимальный средний выигрыш, совпадающий с выигрышем при равновесной ситуации, по своей матрице игрок может найти и оптимальную стратегию другого игрока, но не свою. В нашем случае рассмотрим матрицы 3×3 :

$$A = \begin{pmatrix} 0,205 & 0,219 & 0,35 \\ 0,240 & 0,41 & 0,41 \\ 0,501 & 0,501 & 0,501 \end{pmatrix}$$

$$\text{и } B = \begin{pmatrix} 0,414 & 0,414 & 0,414 \\ 0,374 & 0,374 & 0,374 \\ 0,264 & 0,264 & 0,264 \end{pmatrix}. \quad (20)$$

Найдем решение матричной игры в смешанных стратегиях для обобщенного продавца, с использованием матрицы A . Для этого обозначим через $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ – вектор вероятностей применения обобщенным продавцом соответствующих стратегий, а через v – цену игры. Сделав замену, $x_1 = \alpha_1/v$, $x_2 = \alpha_2/v$, $x_3 = \alpha_3/v$, составим задачу линейного программирования:

$$F = x_1 + x_2 + x_3 \rightarrow \max,$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 0,205x_1 + 0,219x_2 + 0,35x_3 \leq 1, \\ 0,240x_1 + 0,41x_2 + 0,41x_3 \leq 1, \\ 0,501x_1 + 0,501x_2 + 0,501x_3 \leq 1. \end{cases}$$

Решение данной задачи $x_1 = 1,996$, $x_2 = 0$, $x_3 = 0$.

$$\text{Цена игры } v = \frac{1}{x_1 + x_2 + x_3} = \frac{1}{1,996} = 0,501.$$

При переходе к вероятностям, получаем $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = 0$, $\alpha_3 = 0$. Следовательно, решение в чистых стратегиях для обобщенного продавца (1; 0; 0). Цена игры для продавца-заявителя 0,501. Полученные чистые стратегии обобщенного продавца и цена игры для продавца-заявителя совпадают со стратегиями и ценой игры, найденными при решении биматричной модели с помощью методики вычисления равновесия по Нэшу.

Найдем решение матричной игры в смешанных стратегиях для продавца-заявителя, с использованием матрицы B . Для этого обозначим через $(\beta_1, \beta_2, \beta_3)$ – вектор вероятностей применения продавцом-заявителем соответствующих стратегий, а через v – цену игры. Тогда задача линейного программирования для решения игры в смешанных стратегиях с учетом замены переменных, как в предыдущей модели, примет вид:

$$F = x_1 + x_2 + x_3 \rightarrow \max,$$

при ограничениях

$$\begin{cases} 0,414x_1 + 0,414x_2 + 0,414x_3 \leq 1, \\ 0,374x_1 + 0,374x_2 + 0,374x_3 \leq 1, \\ 0,264x_1 + 0,264x_2 + 0,264x_3 \leq 1. \end{cases}$$

Решение данной задачи $x_1 = 2,4$, $x_2 = 0$, $x_3 = 0$.

$$\text{Цена игры } v = \frac{1}{x_1 + x_2 + x_3} = \frac{1}{2,4} = 0,414.$$

Следовательно, получаем решение в чистых стратегиях для продавца-заявителя (1; 0; 0). То есть в условиях конкуренции, оптимальная стратегия для него – первая. Цена игры для обобщенного продавца равна 0,414. Полученное решение так же совпадает с решением, найденным ранее для биматричной игры с использованием методики вычисления ситуации равновесия по Нэшу.

Таким образом, можно упростить процедуру нахождения ситуации равновесия по Нэшу в смешанных стратегиях, сведя решение биматричной игры к решению двух с игр нулевой суммой с платежными матрицами (20).

Заключение

Проведенные исследования позволили получить комплекс моделей поддержки принятия решений продавца при формировании товарного предложе-

ния по однородному товару на маркетплейс в условиях конкуренции. Формирование предложения осуществляется в два этапа. Сначала продавец, получая информацию об обобщенном спросе, и, зная свои функционально-стоимостные ограничения, с помощью предложенных моделей, может определить допустимые области значений характеристик однородного товара, при которых обеспечивается не нулевая ликвидность. Опираясь на них, он мо-

жет сформировать альтернативные варианты своих товарных предложений – товарные стратегии. Выбор товарной стратегии в условиях конкуренции осуществляется в рамках теоретико-игровой модели дуополии с использованием критерия Нэша. На примере показано, что можно упростить процедуру нахождения ситуации равновесия по Нэшу в смешанных стратегиях, сведя решение биматричной игры к решению двух с игр нулевой суммой. ■

Литература

1. Интеллектуальные помощники маркетплейсов: как безопасно принимать решения в эпоху перемен. [Электронный ресурс]: <https://www.tadviser.ru/a/683081> (дата обращения 14.09.2022).
2. Проведение параметрической попозиционной закупки (b2b-center.ru). [Электронный ресурс] <https://www.b2b-center.ru/help/> (дата обращения 15.10.2022).
3. Автоматизация процесса закупок на предприятии. [Электронный ресурс]: <https://www.agora.ru/avtomatizaciya-zakupok/?ysclid=I3uqm2ggxd> (дата обращения 29.10.2022).
4. The Marketplace Glossary (a16z.com). [Электронный ресурс]: <https://a16z.com/2020/02/18/marketplace-glossary/> (дата обращения 21.10.2022).
5. Сервисы аналитики для продавцов на маркетплейсах – сервисы на vc.ru. [Электронный ресурс]: <https://vc.ru/services/106305-servisy-analitiki-dlya-prodavcov-na-marketpleysah> (дата обращения 15.10.2022).
6. Matveev M., Podvalny S., Yadgarova Y. Automated service for product offer creation on the e-trading platform with marketplace technology // Proceedings of the 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). 2020. P. 672–676. <https://doi.org/10.1109/SUMMA50634.2020.9280787>
7. Матвеев М.Г., Шмелев М.А., Алейникова Н.А. Информационные технологии формирования сервисов на электронной торговой площадке // Вестник Воронежского государственного университета. 2021. Сер. Системный анализ и информационные технологии. № 1. С. 63–73. <https://doi.org/10.17308/sait.2021.1/3371>
8. Матвеев М.Г. Информационные технологии формирования предложения на электронной торговой площадке с технологией маркетплейс // Экономика и математические методы. 2021. Т. 57. № 1. С. 105–112. <https://doi.org/10.31857/S042473880009719-9>
9. Алейникова Н.А., Матвеев М.Г. Цифровая технология организации централизованных закупок // Экономика и математические методы. 2022. Т. 58. № 1. С. 70–79. <https://doi.org/10.31857/S042473880018980-7>
10. Сопоставление товаров (матчинг). [Электронный ресурс]: [https://marketparser.ru/sopostavlenie-tovarov-\(matching\).html](https://marketparser.ru/sopostavlenie-tovarov-(matching).html) (дата обращения 10.11.2022).
11. Tirole J. The theory of industrial economics. Mass.: MIT Press, 1988.
12. Choi J.C., Shin H.S. A comment on a model of vertical product differentiation // The Journal of Industrial Economics. 1992. Vol. 60. P. 229–231.
13. Wauthy X. Quality choice in models of vertical differentiation // The Journal of Industrial Economics. 1996. Vol. 3. P. 345–355.
14. Дмитриенко К.Ю. Моделирование оптимального поведения фирмы на рынке олигополии при условии неценовой дифференциации товара // Вестник НГУ. Сер. «Социально-экономические науки». 2009. Т. 9. Вып. 1. С. 42–53.
15. Зенкевич Н.А., Гладкова М.А. Теоретико-игровая модель конкуренции «качество-цена» на отраслевом рынке // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2007. Сер. 8. Вып. 4. С. 3–31.
16. Гладкова М.А., Зенкевич Н.А., Березинец И.В. Модель целевого выбора качества продукта и ее апробация для систем интернет-трейдинга // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2010. Сер. 8. Вып.2. С. 55–77.
17. Малютина Т.Д. Равновесные инвестиционные стратегии фирм в вертикально дифференцированной дуополии Штакельберга // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2013. № 12(60). С. 1–21.
18. Аганин Ю.И. Оптимальное управление инвестициями в динамических моделях дуополии // Вестник Университета. 2017. №7–8. С. 146–152.

19. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976.
20. Сакулин С.А. Визуализация оператора агрегирования на основе интеграла Шоке по нечетной мере 2-го порядка // Вестник ИрГТУ. 2007. № 2 (30). С. 45–51.
21. Сакулин С.А., Алфимцев А.Н. К вопросу о практическом применении нечетких мер и интеграла Шоке // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2012. Спец. вып. 4: «Компьютерные системы и технологии». С. 55–63.
22. Grabisch M., Marichal J.L., Mesiar R., Pap E. Aggregation functions. Cambridge University Press, 2009.
23. Леденева Т.М., Подвальный С.Л. Агрегирование информации в оценочных системах // Вестник ВГУ. Сер. «Системный анализ и информационные технологии». 2016. № 4. С. 155–164.
24. Detyniecki M. Mathematical aggregation operators and their application to video querying. Thesis for the degree Docteur de l'Universite Paris VI. Pierre and Marie Curie University, 2000.
25. Ягер Р.Р. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. М.: Радио и связь, 1986.
26. Sicilia M., Garsia E., Calvo T. An inquiry-based method for choquet integral-based aggregation of interface usability parameters // República Checa Kybernetika. 2003. Vol. 39(5). P. 601–614.
27. Grabisch M., Orlovski S., Yager R. Fuzzy aggregation of numerical preferences // Handbook of Fuzzy Sets Series / R. Slowinski (ed). Dordrecht: Kluwer Academic. 1998. Vol. 4: Fuzzy Sets in Decision Analysis, Operations Research and Statistics. P. 31–68.
28. Grabisch M., Nguyen H. T., Walker E. A. Fundamentals of uncertainty calculi with applications to fuzzy inference. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995.
29. Grabisch M. The application of fuzzy integrals in multicriteria decision making // European journal of operational research. 1996. Vol. 89. P. 445–456. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00176-X](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00176-X)
30. Пиндайк Р., Рубинфельд Д. Микроэкономика: Пер. с англ. М.: Дело, 1992.
31. Нефтепространство и рынок: термины и определения. Проблемно ориентированный терминологический словарь / [Под ред. А.М. Шаммазова, Ю.А. Фролова]. Изд. УГНТУ, 2000.
32. Петросян Л.А., Зенкевич Н.А., Семин Е.А. Теория игр. М.: Высш. шк., Книжный дом «Университет», 1998.
33. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. М.: ИПУ РАН, 2005.
34. Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г. Математические методы и модели в управлении. М.: Дело, 2002.

Об авторах

Матвеев Михаил Григорьевич

доктор технических наук, профессор;

заведующий кафедрой информационных технологий управления, Воронежский государственный университет, 394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, 1;

E-mail: mgmatveev@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-6528-6420

Алейникова Наталья Александровна

кандидат физико-математических наук, доцент;

доцент, кафедра информационных технологий управления, Воронежский государственный университет, 394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, 1;

E-mail: balbashovan@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5967-8260

Титова Мария Дмитриевна

магистрант 2-го года обучения, кафедра информационных технологий управления, Воронежский государственный университет, 394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, 1;

E-mail: 29_06_titova@mail.ru,

ORCID: 0000-0002-4647-7803

Decision support technology for a seller on a marketplace in a competitive environment

Mikhail G. Matveev

E-mail: mgmatveev@yandex.ru

Natalya A. Aleynikova

E-mail: balbashovan@mail.ru

Maria D. Titova

E-mail: 29_06_titova@mail.ru

Voronezh State University

Address: 1, Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russia

Abstract

This article deals with the problem of improving the effectiveness of a marketplace. The stakeholders of a marketplace are buyers and sellers. The objects are the aggregate of homogeneous products. The effectiveness of the trading platform, which can be characterized by the number of transactions made, will depend on how sufficiently the sellers put up offers. The paper looks at mathematical models to support the decision-making of the seller in making such offers. Focusing not only on the buyer demand but also on the presence of competitors on the site is a distinguishing feature of the models. To describe the competition, the apparatus of game theory is offered, namely the normal form of the game with a bimatrix model with two players: the seller – customer of service and the coalition of other sellers. To match offer and demand, as well as to find the probability of a transaction, fuzzy set theory and aggregation using the Choquet integral are used.

Keywords: electronic trading platform, marketplace, homogeneous product, linguistic variable, aggregation operator, Choquet integral, bimatrix game, solution in mixed strategies

Citation: Matveev M.G., Aleynikova N.A. Titova M.D. (2023) Decision support technology for a seller on a marketplace in a competitive environment. *Business Informatics*, vol. 17, no. 2, pp. 41–54. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.41.54

References

1. *Intelligent marketplace assistants: how to make decisions safely in an era of change*. Available at: <https://www.tadviser.ru/a/683081> (accessed 14 September 2022).
2. *Conducting parametric positional procurement (b2b-center.ru)*. Available at: <https://www.b2b-center.ru/help/> (accessed 15 October 2022).
3. *Automation of the procurement process at the enterprise*. Available at: <https://www.agora.ru/avtomatizaciya-zakupok/?ysclid=l3uqm2ggxd> (accessed 22 September 2022).
4. *The Marketplace Glossary (a16z.com)*. Available at: <https://a16z.com/2020/02/18/marketplace-glossary/> (accessed 16 October 2022).

5. *Analytics services for sellers on the Marketplace*. Available at: <https://vc.ru/services/106305-servisy-analitiki-dlya-prodavcov-na-marketpleysah> (accessed 10 October 2022).
6. Matveev M., Podvalny S., Yadgarova Y. (2020) Automated service for product offer creation on the e-trading platform with marketplace technology. Proceedings of the *2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, Summa 2020 Virtual, Lipetsk, 10–13 November 2020*, pp. 672–676.
7. Matveev M., Shmelev M., Aleynikova N. (2021) Information technologies for formation of services on e-trading platform. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies*, no. 1, pp. 63–73 (in Russian).
8. Matveev M. (2021) Information technologies for supply creation on e-trading platform with marketplace technology. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 57, no. 1, pp. 105–112 (in Russian).
9. Aleynikova N., Matveev M. (2022) Digital technology of centralized procurement organization. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 58, no. 1, pp. 70–79 (in Russian).
10. *Matching of goods (matching)*. Available at: [https://marketparser.ru/sopostavlenie-tovarov-\(matching\).html](https://marketparser.ru/sopostavlenie-tovarov-(matching).html) (accessed 17 October 2022).
11. Tirole J. (1988) *The theory of industrial economics*. Mass.: MIT Press.
12. Choi J.C., Shin H.S. (1992) A comment on a model of vertical product differentiation. *The Journal of Industrial Economics*, vol. 60, pp. 229–231.
13. Wauthy X. (1996) Quality choice in models of vertical differentiation. *The Journal of Industrial Economics*, vol. 3, pp. 345–355.
14. Dmitrienko K.Yu. (2009) Modeling of optimal firm's behavior on oligopolistic market under non-price product differentiation. *World of Economics and Management*, vol. 9, pp. 42–53 (in Russian).
15. Zenkevich N.A., Gladkova M.A. (2007) Game-theoretical model «Quality – Price» under competition on the industry market. *Vestnik of Saint Petersburg University*, vol. 8, pp. 3–31 (in Russian).
16. Gladkova M.A., Zenkevich N.A., Berezinets I.V. (2010) Model of product quality choice and internet-trading case study. *Vestnik of Saint Petersburg University*, vol. 8, pp. 55–77 (in Russian).
17. Malyutina T.D. (2013) Equilibrium investment strategies of firms in the vertically differentiated duopoly of Stackelberg. *Management of economic systems: electronic scientific journal*, vol. 12(60), pp. 1–21 (in Russian).
18. Aganin Yu. (2017) Optimal control of investments in a dynamic models of duopoly. *Vestnik Universiteta (Gosudarstvennyi universitet upravleniya)*, nos. 7–8, pp. 146–152 (in Russian).
19. Zadeh L. (1976) *The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions*. Moscow: Mir (in Russian).
20. Sakulin S. (2007) Visualization of the aggregation operator based on the Shoquet integral by a fuzzy measure of the 2nd order. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*, no. 2, pp. 45–51 (in Russian).
21. Sakulin S., Alfimcev A. (2012) On the practical application of fuzzy measures and the Shoke integral. *Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University*, vol. 4: Computer systems and technologies, pp. 55–63 (in Russian).
22. Grabisch M., Marichal J.L., Mesiar R., Pap E. (2009) *Aggregation functions*. Cambridge University Press.
23. Ledeneva T., Podvalniy S. (2016) The aggregation of information in evaluation systems. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies*, no. 4, pp. 155–164 (in Russian).
24. Detyniecki M. (2000) *Mathematical aggregation operators and their application to video querying*. Thesis for the degree Docteur de l'Université Paris VI. Pierre and Marie Curie University.
25. Yager R. (1986) *Fuzzy sets and possibility theory. Resent developments*. Moscow: Radio and Communications (in Russian).
26. Sicilia M., Garsia E., Calvo T. (2003) An inquiry-based method for choquet integral-based aggregation of interface usability parameters. *República Checa Kybernetica*, vol. 39(5), pp. 601–614.
27. Grabisch M., Orlovski S., Yager R. (1998) Fuzzy aggregation of numerical preferences. *Handbook of Fuzzy Sets Series (ed. R. Slowinski)*, Dordrecht: Kluwer Academic. Vol. 4: Fuzzy Sets in Decision Analysis, Operations Research and Statistics, pp. 31–68.
28. Grabisch M., Nguyen H. T., Walker E. A. (1995) *Fundamentals of Uncertainty Calculi with Applications to Fuzzy Inference*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
29. Grabisch M. (1996) The application of fuzzy integrals in multicriteria decision making. *European Journal of Operational Research*, vol. 89, no. 3, pp. 445–456.
30. Pindyck R., Daniel L. (2013) *Microeconomics*. Pearson Education.

31. Shammazova A.M., Frolova Yu.A. (2000) *Oil space and market: terms and definitions. Problem-oriented terminology dictionary*. Ufa: USNTU (in Russian).
32. Petrosyan L., Zenkevich N., Semina E. (1998) *Game theory*. Moscow: Higher school (in Russian).
33. Goubko M., Novilov D. (2002) *Game theory for control mechanisms in organizations*. Moscow: Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences (in Russian).
34. Shikin E., Chkhartishvili A (2002) *Mathematical methods and models in management*. Moscow: Delo (in Russian).

About the authors

Mikhail G. Matveev

Dr. Sci. (Tech.), Professor;

Head of Department of Information Technologies in Management, Voronezh State University, 1, Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russia;

E-mail: mgmatveev@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-6528-6420

Natalya A. Aleynikova

Cand. Sci. (Physics and Mathematics);

Associate Professor, Information Technologies in Management, Voronezh State University, 1, Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russia;

E-mail: balbashovan@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5967-8260

Maria D. Titova

Master student, Information Technologies in Management, Voronezh State University, 1, Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russia;

E-mail: 29_06_titova@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4647-7803

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.55.70

Проблема интерпретации, дифференциации и классификации цифровых продуктов

А.И. Шайдуллин 

E-mail: aishajdullin@hse.ru

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Адрес: Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

Аннотация

Цифровые инновационные продукты зачастую становятся значимым фактором пересмотра бизнес-стратегий компаний и влияют на потребительские предпочтения. Ключевым компонентом в процессе формулирования таких стратегий является понимание последствий, лежащих в основе атрибутов цифровых продуктов. Это требует хорошего понимания их природы и характеристик. На сегодняшний день не существует прочной основы для классификации различных цифровых продуктов в соответствии с присущими им характеристиками. В работе представлена новая интерпретация цифровых продуктов на основе анализа 2954 научных статей из базы Scopus, рассмотрены проблемы дифференциации цифровых продуктов от других типов продуктов (таких как «киберфизические продукты», «цифровизированные продукты», «умные продукты» и др.), а также разработана новая классификация цифровых продуктов методом выделения их ключевых атрибутов. Цель исследования заключается в разработке продвинутой классификации цифровых продуктов на основе их дифференциации от других типов продуктов. Построенная классификация, основанная на принципах дифференциации, позволит создавать более глубокие и продвинутые бизнес-модели.

Ключевые слова: цифровые продукты, цифровизация, физический продукт, классификация, киберфизические продукты, библиометрический анализ

Цитирование: Шайдуллин А.И. Проблема интерпретации, дифференциации и классификации цифровых продуктов // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. № 2. С. 55–70. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.55.70

Введение

Популярность интернета, в частности интернет-магазинов, поставила перед компаниями во всем мире множество задач, связанных с продвижением своей продукции в сфере электронной коммерции. В частности, все большее число компаний, в том числе издатели, банки, новостные и страховые агенты, пересматривают концепции своих продуктов, чтобы создавать и продавать цифровые аналоги традиционных товаров и услуг [1]. Растущая популярность продажи цифровых продуктов как основного способа получения прибыли побудила руководителей предприятий и ученых-исследователей изучить оптимальные конкурентные стратегии, связанные с продажей этих продуктов [2]. Интерес к цифровым продуктам отмечается и в количестве публикуемых научных статей по данной тематике. На *рис. 1* изображен тренд количества публикаций за последние 10 лет по ключевому слову «цифровой продукт» (использовались материалы из базы статей Scopus). Можно заметить, что наибольший «всплеск заинтересованности» пришелся на период 2019–2020 гг., что можно связать с пандемией COVID-19, когда спрос на цифровые продукты значительно вырос [3–6].

Разные цифровые продукты, как правило, демонстрируют разные темпы роста [7], которые в значительной степени зависят от основных характеристик продукта [8–10] и рыночной среды [11–14]. Зачастую даже незначительные изменения в структуре цифрового продукта способны серьезно повлиять на спрос и поменять существующий рынок [15].

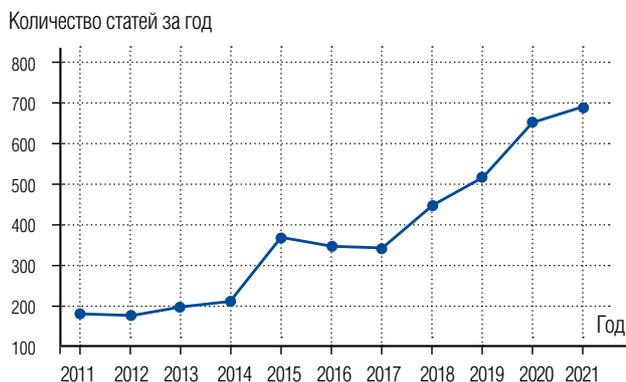


Рис. 1. Количество опубликованных статей по теме «цифровых продуктов» (на основе анализа статей из базы Scopus).

По мнению К. Кристенсена, инновации, значительно влияющие на рынок и обрывающие технологические циклы, называются «подрывными» [16].

Таким образом, разные виды и типы цифровых продуктов требуют разного подхода в моделировании и в способах внедрения в бизнес-процесс. Несмотря на это, не существует прочной основы для классификации различных цифровых продуктов в соответствии с присущими им характеристиками [17]. Влияние цифровизации на бизнес и технологии имеет несколько аспектов, которые напрямую влияют на цифровые архитектуры продуктов и услуг. К сожалению, текущий подход к моделированию для разработки надлежащих моделей цифровых услуг и продуктов страдает от наличия множества неконтролируемых разнообразных подходов и структур моделирования. Высококачественные цифровые модели должны следовать четкой концепции ценности и обслуживания. Далее будет осуществлена попытка систематизировать и классифицировать цифровые продукты на основе их основных типов и характеристик. Цель исследования заключается в разработке продвинутой классификации цифровых продуктов на основе их дифференциации от других типов продуктов.

В настоящее время также нет надежной взаимосвязи между цифровыми стратегиями и бизнес-моделированием. Ценность обычно ассоциируется с полезностью и объединяет такие категории как важность и желательность [18]. Концепция ценности важна при разработке адекватных цифровых услуг и связанных с ними цифровых продуктов.

1. Интерпретация цифровых продуктов

Что такое цифровой продукт? С точки зрения экономической теории большинство цифровых продуктов — это публичные или коллективные блага, поставляемые в частном порядке со всеми вытекающими отсюда последствиями: «проблема безбилетника» и «трагедия общин» [19]. С переходом к цифровому формату эти проблемы только обостряются, а проблема борьбы с медиа-пиратством в интернете становится более сложной, чем в прежнем аналоговом мире. Другое определение дано в исследовании [20], где дополнительно изучалось представление цифрового продукта как визуальных и вербальных элементов с точки зрения мысленных образов. В статье [21] понятие цифровой продукт представляет собой сложную научную категорию, которая подвержена изменениям.

Изначально, когда разрабатывались цифровые технологии, они сами были цифровыми продуктами [22]. Данная логика подразумевает, что цифровые продукты включают цифровые устройства (например, мобильные устройства) и связанные (дополняющие) товары и услуги (например, программное обеспечение). В ходе распространения цифровых технологий усложнилась и типологизация цифровых продуктов. На данный момент к ним относятся не только цифровые устройства, но и цифровые услуги, а также производимые и продаваемые товары. Однако подобная классификация цифровых продуктов тесно пересекается с определениями «интеллектуальных продуктов» и «киберфизических продуктов», что не позволяет полноценно раскрыть значение «цифровых продуктов».

Интерпретация цифровых продуктов также зависит от того, кто является выгодополучателем от внедрения цифрового продукта на рынок. Отношение заинтересованных сторон к цифровому продукту противоречиво [23]. Для государства этот продукт является средством развития цифровой экономики, стимулирующим повышение глобальной конкурентоспособности экономической системы и ускорение ее экономического роста. Примером макроэкономических преимуществ, получаемых за счет замены традиционных (доцифровых) продуктов цифровыми, является повышение прозрачности экономической деятельности и предотвращение уклонения от уплаты налогов [24]. Другой пример – сокращение расходов государства на денежную массу при переходе на электронные деньги [25].

В свою очередь, предпринимателям также выгодно поддерживать популяризацию цифровых продуктов, поскольку они создают преимущества для бизнеса. Одним из таких преимуществ является снижение предпринимательских рисков и издержек в долгосрочной перспективе [26]. Например, онлайн-торговля позволяет минимизировать резервы (оптимизация логистики) и более точно прогнозировать спрос (оптимизация маркетинга). Еще одно преимущество связано с расширением деятельности: диверсификация рынков сбыта и получение «эффекта масштаба». Например, компании интернет-торговли могут вести деловое сотрудничество и продавать свою продукцию на отдаленных рынках, что очень сложно в случае обычной розничной торговли. В результате растет значимость сетевых эффектов.

Современные потребители проявляют повышенный интерес к цифровому продукту из-за его большей доступности и более низкой цене по сравнению с доцифровым продуктом. Таким образом, растет популярность онлайн-торговли, онлайн-финансов и онлайн-госуслуг. Однако потребители отдают предпочтение цифровому продукту только в случае его высокого качества [27]. Хотя потребители не всегда пользуются преимуществом более низкой цены цифрового продукта, в большинстве случаев они сталкиваются с такими недостатками цифрового продукта, как высокий риск его приобретения и использования (из-за новизны, неясности правового поля и других причин).

Это противоречие – высокий спрос при высоких показателях неопределенности – сдерживает производство и реализацию цифровых продуктов и тормозит развитие цифровой экономики. Попытки преодоления за счет повышения качества цифрового продукта в условиях современной цифровой экономики малоэффективны, что связано со слабой разработанностью и неразвитостью научного видения качества цифрового продукта как экономической категории [28]. Поэтому важной научной и практической задачей является преодоление сложившегося противоречия с наиболее полным, точным и правильным определением качества цифрового продукта как экономической категории. Для этого важно выделить факторы, с помощью которых можно разграничить «цифровые» и «физические» продукты.

Цифровые продукты могут распространяться без потерь в чисто цифровой форме (например, с использованием компьютерных сетей). Цифровой продукт служит определенной цели, предназначен для продажи или обмена и может удовлетворить желание или потребность пользователя. С другими критериями, которые помогают различать цифровые продукты от физических, можно ознакомиться в *табл. 1*.

Классические промышленные продукты статичны. Их можно изменить только в ограниченной степени. Напротив, оцифрованные продукты динамичны. Они содержат как программное обеспечение, так и облачные сервисы. Их можно обновлять через сетевые подключения. Таким образом, функциональность продуктов может быть адаптирована к меняющимся требованиям и потребностям клиентов. Можно поэтапно создавать оцифрованные продукты и услуги или предостав-

Таблица 1.

Разница между «физическим» и «цифровым» продуктом

Критерий	Цифровой продукт	Физический продукт
Свойства продукта		
Ценность после использования	После первого использования идентичны новым, а в некоторых случаях даже лучше (например, для цифровых игр достигнутые уровни добавляют ценность). Актуален только «моральный» износ (например, устаревание, выход из моды и др.) [29].	Обычно обесцениваются после покупки и использования («подержанный продукт»). Для этих продуктов актуальны понятия «амортизация» и «физический и моральный» износ.
Гибкость продукта и скорость предоставления услуги	Гибкие продукты. Изменения можно легко и быстро внедрить в продукт. Однако подобное может вызвать определенные сложности в контексте интеллектуальных авторских прав. Возможность мгновенной «доставки» заказа (или получения доступа).	Статичные продукты: состав, идея, вид, дизайн продукта обычно четко заданы, внесение каких-либо изменений сопровождается изменением самого продукта. Бывают задержки в доставке продукции: создаются дополнительные сложности в вопросах логистики.
Издержки		
Постоянные и переменные издержки продукта	Высокие постоянные издержки для R&D. Небольшая или практически нулевая стоимость доставки единицы продукта. Низкие накладные расходы.	Возникают определенные постоянные затраты. Нетривиальная стоимость доставки единицы продукции.
Издержки на «наращивание аудитории», проблема сетевых эффектов	Наращивание аудитории зависит от влияния сетевого эффекта и «накапливается» быстрее, чем для физического продукта. Это снижает издержки на привлечение дополнительной аудитории.	Высокие издержки. Влияние «сетевого эффекта» зависит от типа продукта.
Транзакционные издержки	Низкие, завершение договоров купли-продажи «в несколько кликов».	Высокие.
Издержки поиска продукта, «меню», переключения и копирования	Низкие. При копировании возникают проблемы пиратства и авторских прав.	Высокие. При копировании требуется копирование непосредственно самого физического объекта.
Риски		
Риск для разработчика	Риск может быть высоким для таких продуктов, как цифровые игры, поскольку рыночный спрос и реакция на него очень изменчивы. Для нивелирования рисков менеджеры-разработчики обычно используют некаскадные методологии бизнес-процессов: Agile [30] или Scrum [31] методологии управления проектами.	Зависит от характера продукта. Для сезонных продуктов рыночный спрос очень нестабилен, а риск высок. Для вывода продукта используют преимущественно каскадные методологии управления проектами + существует потребность в создании «дорожных карт» развития продукта.
Риск для потребителей	Может быть высоким, так как потребителям, возможно, придется учиться пользоваться продуктом, и они могут не знать об этом задолго до покупки.	Могут быть доступны для прикосновения и подробного визуального исследования перед покупкой.
Асимметрия информации	Низкая асимметрия информации. Возникновение проблемы принципала-агента менее вероятно [32].	Высокая асимметрия информации. Высокая значимость проблемы принципала-агента.
Рыночные факторы		
Ценовые дискриминации и рыночная сегментация	Ценовые дискриминации возможны, однако маловероятны ввиду отсутствия асимметрии информации. Для сегментации аудитории и рынка предпочтительно применять Big Data анализ. Умеренная точность, значимая роль количественных маркетинговых исследований [33].	Вероятны ценовые дискриминации всех трех типов. Анализ аудитории происходит преимущественно при помощи различных опросов, фокус-групп и других методов маркетингового анализа. Низкая точность, высокая погрешность, высокое влияние субъективных факторов (например, такого когнитивного искажения как «ошибка/предвзятость наблюдателя»).
Рентабельность	Более высокая рентабельность по сравнению с «физическими продуктами»: нет повторяющихся затрат на товары, следовательно, сохранение большей части прибыли.	Рентабельность обычно ниже, чем у «цифровых продуктов»: обычно за счет высоких постоянных издержек производства.
Дезинтермедияция	Зачастую посредники исключаются из процесса предоставления услуги.	Зачастую необходимо активное участие 1–2 посредников.

лять их временно. Цифровые продукты могут быть скопированы практически бесплатно и подлежат некоммерческому копированию конечными потребителями. Поскольку качество копии обычно не ухудшается, копии могут стать доступными в больших масштабах. При этом обостряется проблема онлайн-пиратства. В статье [34] анализируются базовые модели пиратства, модели с прямым присвоением, модели с сетевыми эффектами и модели с асимметричной информацией.

Цифровые продукты способны фиксировать свое собственное состояние и представлять эту информацию в связанных контекстах [35]. На этом основана, так называемая, «сервитизация продуктов». Покупателю продается не физический продукт, а услуга. Поставщик может удаленно определить, работает ли продукт, и при необходимости инициировать техническое обслуживание и ремонт. Оценка информации о состоянии и анализ истории использования продукта позволяют предсказать, когда вероятна неисправность. Техническое обслуживание или замена продукта выполняется до прогнозируемого выхода из строя. Собранные данные также предоставляют информацию для ремонта на месте, так что может быть достигнута высокая скорость решения проблемы с первого раза. Таким образом, можно значительно сократить незапланированные остановки работы продукции.

Цифровые продукты также допускают сетевые эффекты [36], которые экспоненциально растут с количеством участвующих устройств [37, 38]. Увеличение количества оцифрованных продуктов увеличивает стимулы для поставщиков дополнительных услуг. В то же время, это повышает привлекательность для дальнейшей оцифровки продуктов. Сетевые эффекты возникают не только для повышения функциональности, но и для аналитического использования данных, собранных оцифрованными продуктами. Эти эффекты называются сетевым интеллектом. При помощи объединения данных с многих устройств, можно обнаруживать тенденции намного раньше и точнее.

Цифровые продукты и услуги становятся частью информационной системы, которая ускоряет процессы обучения и познания во всех продуктах [39]. Параллельно может быть достигнут и ряд других полезных эффектов, таких как оптимизация сети, оптимизация обслуживания и улучшенные возможности восстановления при рас-

смотрении отдельных систем [40]. Потребитель превращается в «сопроизводителя» [41]. Платформы дополняют продукты, взаимодействующие через стандартизированные интерфейсы.

Производители не будут просто полагаться на спрос и предложение в соответствии с ценообразованием предельного дохода и предельных издержек. Исходя из характеристик самой цифровой продукции, себестоимости, сетевой рыночной среды, особенностей поведения потребителей и расширения сети, следует теория группового ценообразования [42], на основе которого выдвигается бизнес-стратегия и строится бизнес-модель.

2. Дифференциация цифровых продуктов от других типов продуктов

На основе выделения определения цифровых продуктов и их разграничения от физических продуктов (попытка решения «проблемы интерпретации»), можно строить модели цифровых бизнес-стратегий. Однако сейчас в научной среде нет статей, которые бы четко разграничивали такие понятия, как интеллектуальные продукты, цифровизированные (оцифрованные) продукты, киберфизические продукты, цифровые продукты и др. В *табл. 2* представлены определения этих понятий, а на *рис. 2* отображено сопоставление терминов в кругах Эйлера (попытка решения «проблемы дифференциации»).

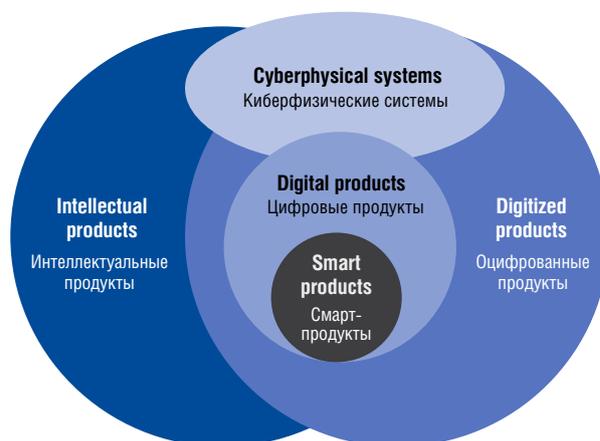


Рис. 2. Дифференциация терминов, относящихся к разным видам цифровизированных продуктов.

Таблица 2.

**Отдельные концепции и концепции,
связанные с «оцифрованными продуктами»**

Концепция	Описание
Цифровизированные / оцифрованные продукты (Digitized products)	“(…) оцифровка делает физические продукты программируемыми, адресуемыми, разумными, коммуникабельными, запоминающимися, отслеживаемыми и ассоциированными (…)” [43]. Подобные продукты комбинируют в себе физические и цифровые атрибуты. Включенность физической оболочки в определение является важным фактором. При построении различных моделей необходимо принимать это во внимание.
Киберфизические системы / продукты (Cyberphysical systems)	(…) представляют собой интеграцию вычислений с физическими процессами. Встроенные компьютеры и сети отслеживают и контролируют физические процессы, обычно с петлями обратной связи, когда физические процессы влияют на вычисления и наоборот (…)” [44]. Киберфизические продукты, помимо физической оболочки, учитывают и внутренние «физические процессы» товара
Интеллектуальные продукты (Intelligent products)	“(…) содержат возможности восприятия, памяти, обработки данных, рассуждений и коммуникации (…)” [45]. Интеллектуальные продукты отделяются от причисления к физическим материям, здесь на первый план выходит «содержимое» продукта, а именно возможность продукта хранить, обрабатывать и передавать информацию.
Умные объекты (Smart objects)	“(…) обладают уникальной идентичностью, способны эффективно общаться с окружающей средой, могут сохранять данные о себе, использовать язык и способны принимать решения (…)” [46]. Определение по смыслу очень напоминает определение «интеллектуальных продуктов». Умные объекты входят в систему «интеллектуальных продуктов». Ключевой момент здесь – это умение принимать решение и сообщать во внешнюю среду [47]. Они знают не только об уже пройденных шагах процесса, но и способны определить будущие шаги [48]. Датчики позволяют фиксировать физические измерения, камеры — получать визуальную информацию о продукте и его окружении в режиме реального времени.
Умные, подключенные продукты (Smart, connected products)	“(…) состоят из физических компонентов, интеллектуальных компонентов (датчики, микропроцессоры, хранилище данных, элементы управления, программное обеспечение, операционная система) и компонентов подключения (порты, антенны, протоколы) (…)” [49]. Определение близко по смыслу к определению «цифровизированных продуктов». Однако определение более узкое: данные продукты относятся именно к «умным объектам».
Интернет вещей (Internet of things)	“(…) предметы повседневного обихода могут быть оснащены возможностями идентификации, распознавания, работы в сети и обработки, которые позволяют им общаться друг с другом и с другими устройствами и службами через Интернет (…)” [50]. Определение подчеркивает системный характер подобных продуктов. Объекты могут принимать решения и взаимодействовать как с человеком, так и с другими роботизированными объектами.

3. Классификация цифровых продуктов

Проблемой «цифровых продуктов» занимаются ученые из разных областей жизни. Одним из способов классификации объектов является их классификация по сферам применения. Для построения следующих таблиц и рисунков использовались данные из базы Scopus. Из *рис. 3* и *табл. 3* можно заметить, что наиболее популярными сферами, где изучаются теоретические основы и практические методы применения цифровых продуктов, являются компьютерные науки, инженерия, социальные дисциплины, сфера менеджмента и бизнеса, математика и др.

Сложность выделения кластеров для классификации наблюдается при кластеризации терминов на основе обработки 2954 статей из базы Scopus (*рис. 4*). Для построения карты терминов применялась методология, предложенная в статье [51]. Для кластеризации терминов применялась программа VOSviewer, которая выделила 5 больших кластера.

Первый кластер включает термины из сферы цифровых технологий. Цифровые технологии, такие как аддитивное производство, искусственный интеллект, облачные вычисления, анализ данных, социальные сети и беспроводные сенсорные сети [52, 53], открывают беспрецедентные возможности для разработки и выпуска новых продуктов [54]. Данный кластер, скорее, отображает прикладной

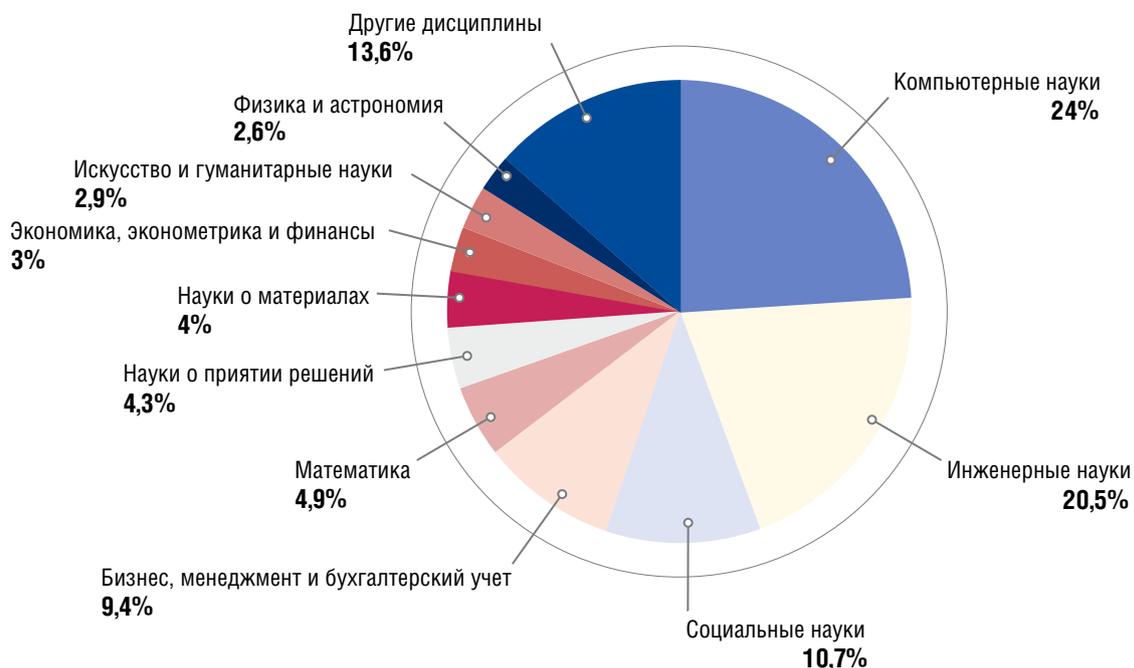


Рис. 3. Распределение публикаций, посвященных цифровым продуктам, по исследовательским категориям на основе библиометрического анализа базы данных Scopus.

Таблица 3.

Количество статей по термину «цифровые продукты» по исследовательским дисциплинам

Сфера	Количество статей	Сфера	Количество статей
Компьютерные науки (информатика)	3812	Науки об энергии и энергетических системах	251
Инженерные науки (инжиниринг)	3259	Химическая инженерия	179
Социальные науки	1706	Психология	159
Бизнес, менеджмент и бухгалтерский учет	1492	Сельскохозяйственные и биологические науки	155
Математика	786	Химия	119
Науки о принятии решений	679	Биохимия, генетика и молекулярная биология	110
Материаловедение	636	Мультидисциплинарные направления	70
Экономика, эконометрика и финансы	483	Медицинские профессии (Науки о здоровье)	68
Искусство и гуманитарные науки	464	Неврология	40
Физика и астрономия	418	Стоматология	21
Наука об окружающей среде	373	Сестринское дело	19
Науки о Земле и планетах	316	Фармакология, токсикология и фармацевтика	16
Медицина	253	Иммунология и микробиология	12

характер применения цифровых продуктов в контексте цифрового производства. Цифровое производство — это цифровое представление всего производственного процесса. Он включает в себя три основных компонента: цифровую фабрику, виртуальную фабрику и соответствующее управление данными. Второй кластер включает сферы применения цифровых продуктов (например, в сфере продаж). Третий кластер выделяет сферы взаимодействия машины и человека. Четвертый кластер отражает меры защиты цифровых продуктов. Пятый кластер подчеркивает важность цифровых инноваций.

На *рис. 4* также представлена тепловая карта ключевых слов по годам. Подобная карта позволяет выделить базовые (фундаментальные) концепции внутри процесса цифровизации, а также новые элементы, которые относятся к изучаемой теме. Новыми направлениями в данной области являются цифровые двойники, цифровая трансформация, добавленная реальность, цифровые инновации внутри концепции «Индустрии 4.0».

Некоторые авторы, среди которых [55–57], выделяют отдельную нишу в классификации цифровых продуктов в виде «цифровых данных». В 2018 г. возникла новая мера, основанная на фундаменте цитирования данных: достоверность данных — реальная ценность, отражающая важность данных, цитируемых исследовательской организацией [58].

Существует такое явление как цифровые информационные продукты (DIP), которые являются подмножеством цифровых продуктов. DIP — это особый тип цифрового продукта, основным преимуществом которого является предоставление информации [59]. DIP часто состоит из смеси информации и программного обеспечения. Разница между DIP и чистым программным обеспечением заключается в том, что DIP ориентирован на доставку информации. В этом отношении только ограниченный набор программных систем может квалифицироваться как DIP [60]. DIP широко распространены, это, например, электронные журналы, фильмы, электронные сводки погоды, оцифрованные образовательные программы, учебные пособия и лекции.

Основная ограниченность всех существующих классификаций — это размытое представление об исследуемом объекте: нет четкого мнения о том, чем же цифровые продукты отличаются от других типов продуктов. В данной статье для выделения данной проблемы было изучено порядка 2954 статей. Благодаря дифференциации продуктов достигается возможность построения более качественной классификации. На *рис. 5* представлено примерное разделение цифровых продуктов на категории. Построенная классификация базируется на «дифференцированных критериях»: в классификацию попали лишь те виды цифровых продуктов, которые заметно отличаются от других

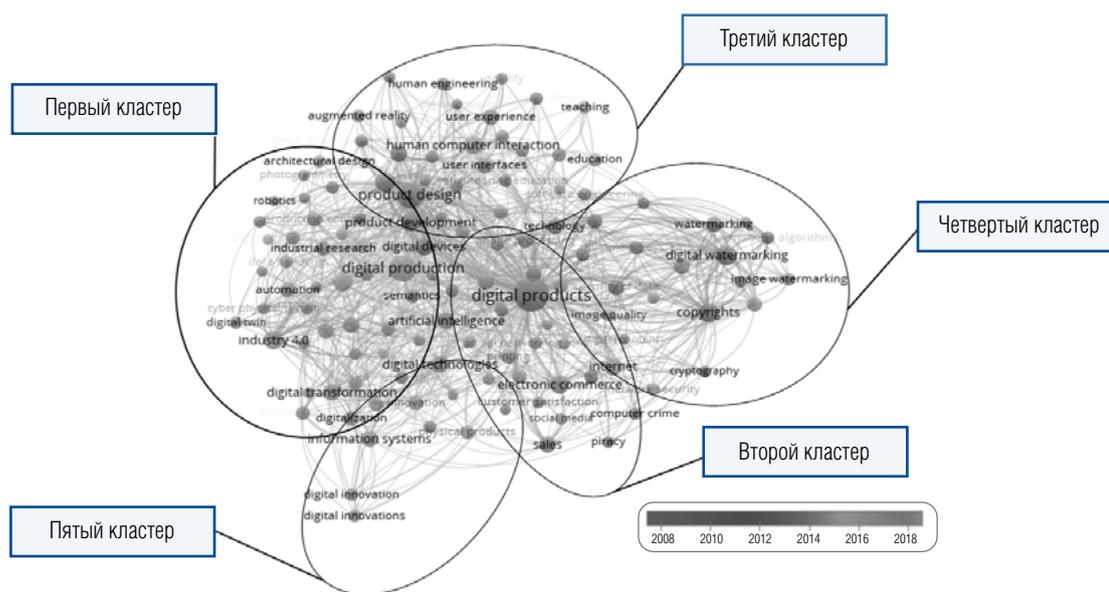


Рис. 4. Карта кластеров и тепловая карта ключевых слов.

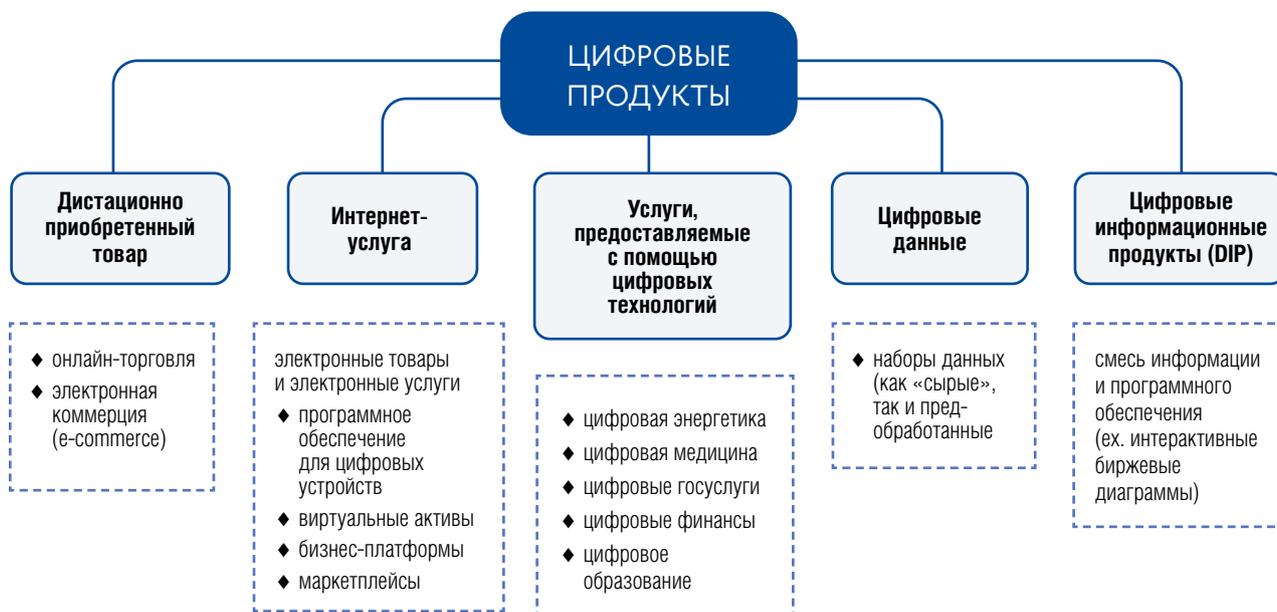


Рис. 5. Классификация цифровых продуктов на основе их дифференциации от других видов цифровизированных продуктов.

категорий цифровизированных продуктов. В последующих работах планируется расширить существующие классификации. Для усиления глубины построения классификаторов цифровых продуктов необходимо выделить дополнительные критерии, которые обуславливают дифференциацию одной категории продуктом от других. Например, в статье [62] предлагается несколько классификаций цифровых продуктов, основанные на выделении различных критериев: 1) цифровые продукты, основанные на контенте; утилиты и инструменты; онлайн-сервисы; 2) категории, основанные на концепциях 4P, 4C и 4S; 3) на основе возможности судебного разбирательства и степени детализации. Несмотря на то, что авторы создают систематический взгляд на проблему и стремятся объединить все критерии в единую структуру, предложенная классификация не учитывает природу цифровых продуктов, а также отличия между цифровизированными продуктами. Для дальнейшего развития концепции «цифровых продуктов» необходимо изучить методы моделирования классификаторов.

Среди методов моделирования классификаторов можно выделить: сентиментные методы, метод Rocchio, метод вероятностной классификации (метод Байеса), методы кластеризации и др. Будущие статьи также могут быть посвящены вопросам

сравнения эффективности использования вышеуказанных методов моделирования.

Следующим этапом в развитии данной темы является построение различных бизнес-моделей, где применяются цифровые продукты. Понимание специфики цифровых продуктов для моделирования крайне важно, так как бизнес-модели зачастую включают описание характеристик товара. Цифровые продукты не имеют физической формы как таковой. Как можно заметить, существуют определенные факторы, которые могут значительно повлиять на качество моделей. Те правила, которые оптимальны, например, для физических продуктов, для цифровых продуктов могут оказаться нерелевантными.

В статье [61] используется гибридная система, основанная на нечетком моделировании, для выявления зависимостей между характеристиками пользователя и оценкой цифровых продуктов с целью разработки системы динамического ценообразования. В настоящее время промышленные компании постепенно переходят от продуктоориентированной бизнес-модели к сервисно-доминантной логике. Подобная логика предлагает персонализированные продукты и услуги в виде набора решений для удовлетворения индивидуальных потребностей клиентов.

Заключение

Разработка цифровых продуктов в последние годы переживает бум из-за зрелости всей среды. Тем не менее, большинство исследований электронной коммерции по-прежнему сосредоточено на физических продуктах и упускают из виду ценность цифровой волны. В данной статье были предложены критерии, по которым можно разграничивать физические и цифровые продукты. Для дальнейшего построения стратегии развития продукта критически важно понимать основные характеристики, по которым один вид продукта отличается от другого. Среди критериев, позволяющих разграничивать физические и цифровые продукты, можно выделить следующие: свойства самого продукта, издержки на производство, распространение, поддержку и т.д. продукции, риски и рыночные факторы. Понимание структуры и свойств продукта, а также ключевых атрибутов, позволит эффективнее коммерциализировать их и гармоничнее вписать в экономическую систему страны.

Развитие цифровых продуктовых платформ является преобладающей тенденцией во многих отраслях. По мере того как фирмы внедряют цифровые технологии в устоявшиеся категории продуктов, им необходимо справляться с напряженностью на нескольких организационных уровнях, включая стратегию, технологию и структуру. На основе цифровизации на заводах сочетание интернет-технологий и ориентированных на будущее технологий в области «умных» объектов приводит к новому фундаментальному сдвигу парадигмы в промышленном производстве. Видение будущего

производства включает в себя модульные и эффективные производственные системы и характеризует сценарии, в которых продукты контролируют свой собственный производственный процесс.

Наблюдается эволюция интернет-систем, сочетающих в себе черты как технического, так и экономического аспектов. В связи с этим возникает проблема с решениями, связанными с моделированием и управлением различными аспектами организации системы. В данной статье были представлены варианты интерпретации цифровых продуктов, а также их дифференциации и классификации. Дифференциация цифровых продуктов от других типов цифровизированных продуктов позволяет разграничить направления исследования, а также помогает исследовать отдельные категории тех или иных форм продуктов, основываясь на их дифференциации. Подразумевается, что понимание этих различий способно создать более ясную картину восприятия сложного технологического мира.

Инновации в цифровом мире все чаще разрабатываются в области открытых платформ, состоящих из базовой технологии и большого количества дополнительных продуктов, разработанных экосистемой независимых дополняющих компаний. Литература по экосистеме платформ в основном сосредоточена на косвенных сетевых эффектах, возникающих из-за количества дополнений, с небольшим вниманием к качеству дополнений. Необходимы совместные действия владельцев платформ и пользователей, чтобы реагировать на возможности, сбои и устаревание. ■

Литература

1. Hui K.L., Chau P.Y.K. Classifying digital products // *Communications of the ACM*. 2002. Vol. 45. No. 6. P. 73–79. <https://doi.org/10.1145/508448.508451>
2. Adisorn T., Tholen L., Götz T. Towards a digital product passport fit for contributing to a circular economy // *Energies*. 2021. Vol. 14. No. 8. <https://doi.org/10.3390/en14082289>
3. Almeida F., Duarte S.J., Monteiro A.J. The challenges and opportunities in the digitalization of companies in a post-COVID-19 world // *IEEE Engineering Management Review*. 2020. Vol. 48. No. 3. P. 97–103. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3013206>
4. Corbet S., Hou Y.G., Hu Y., Larkin C., Lucey B., Oxley L. Cryptocurrency liquidity and volatility interrelationships during the COVID-19 pandemic // *Finance Research Letters*. 2022. Vol. 45. Article 102137. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102137>
5. Fairgrieve D., Feldschreiber P., Howells G., Pilgerstorfer M.Q.C. Products in a pandemic: Liability for medical products and the fight against COVID-19 // *European Journal of Risk Regulation*. 2020. Vol. 11. No. 3. P. 565–603. <https://doi.org/10.1017/err.2020.54>
6. Jin L., Hao Z., Huang J., Akram H.R., Saeed M.F., Ma H. Depression and anxiety symptoms are associated with problematic smartphone use under the COVID-19 epidemic: The mediation models // *Children and Youth Services Review*. 2021. Vol. 121. Article 105875. <https://doi.org/10.1016/j.chilcyouth.2020.105875>
7. Hu Y., Li W. Document sentiment classification by exploring description model of topical terms // *Computer Speech and Language*. 2011. Vol. 25. No. 2. P. 386–403. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2010.07.004>

8. De Sordi J.O., Nelson R.E., Meireles M., da Silveira M.A. Development of digital products and services: Proposal of a framework to analyze versioning actions // *European Management Journal*. 2016. Vol. 34. No. 5. P. 564–578. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2016.01.009>
9. Kim M. Digital product presentation, information processing, need for cognition and behavioral intent in digital commerce // *Journal of Retailing and Consumer Services*. 2019. Vol. 50. P. 362–370. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2018.07.011>
10. Kleinsmann M., Ten Bhömer M. The (new) roles of prototypes during the co-development of digital product service systems // *International Journal of Design*. 2020. Vol. 14. No. 1. P. 65–79.
11. U.S. Department of Commerce. The Emerging Digital Economy. 1998. [Электронный ресурс]: https://www.commerce.gov/sites/default/files/migrated/reports/emergingdig_0.pdf (дата обращения 17.04.2023).
12. Avinadav T., Chernonog T., Perlman Y. Analysis of protection and pricing strategies for digital products under uncertain demand // *International Journal of Production Economics*. 2014. Vol. 158. P. 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.07.021>
13. Gustafsson E., Jonsson P., Holmström J. Digital product fitting in retail supply chains: Maturity levels and potential outcomes // *Supply Chain Management*. 2019. Vol. 24. No. 5. P. 574–589. <https://doi.org/10.1108/SCM-07-2018-0247>
14. Feng J., Yu K. Moore's law and price trends of digital products: The case of smartphones // *Economics of Innovation and New Technology*. 2020. Vol. 29. No. 4. P. 349–368. <https://doi.org/10.1080/10438599.2019.1628509>
15. Makkonen H., Komulainen H. Explicating the market dimension in the study of digital innovation: A management framework for digital innovation // *Technology Analysis and Strategic Management*. 2018. Vol. 30. No. 9. P. 1015–1028. <https://doi.org/10.1080/09537325.2018.1433823>
16. Christensen C.M. The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail. Boston, Massachusetts, USA: Harvard Business School Press, 1997.
17. Abrosimov Y., Mingaleev G., Snegurenko A. Organization of enterprise digital infrastructure // *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. 2020. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon50210.2020.9271088>
18. Kim C., Kim D.J. Uncovering the value stream of digital content business from users' viewpoint // *International Journal of Information Management*. 2017. Vol. 37. No. 6. P. 553–565. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.05.004>
19. Demsetz H. The Private Provision of Public Goods // *The Journal of Law and Economics*. 1970. Vol. 13. No. 2. P. 293–306. <https://doi.org/10.1086/466695>
20. Kim M., Lennon S. The effects of visual and verbal information on attitudes and purchase intentions in internet shopping // *Psychology and Marketing*. 2008. Vol. 25. No. 2. P. 146–178.
21. Popkova E.G. Quality of digital product: Theory and practice // *International Journal for Quality Research*. 2020. Vol. 14. No. 1. P. 201–218. <https://doi.org/10.24874/IJQR14.01-13>
22. Martínez-Caro E., Cegarra-Navarro J.G., Alfonso-Ruiz F.J. Digital technologies and firm performance: The role of digital organisational culture // *Technological Forecasting and Social Change*. 2020. Vol. 154. Article 119962. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119962>
23. Alawneh A., Al-Refai H., Batiha K. Measuring user satisfaction from e-government services: Lessons from Jordan // *Government Information Quarterly*. 2013. Vol. 30. No. 3. P. 277–288. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2013.03.001>
24. Clark B.Y., Brudney J.L., Jang S. Coproduction of government services and the new information technology: Investigating the distributional biases // *Public Administration Review*. 2013. Vol. 73. No. 5. P. 687–701. <https://doi.org/10.1111/puar.12092>
25. Chen C., Lin Y., Chen W., Chao C., Pandia H. Role of government to enhance digital transformation in small service business // *Sustainability (Switzerland)*. 2021. Vol. 13. No. 3. Article 1028. <https://doi.org/10.3390/su13031028>
26. Hienerth C., Lettl C., Keinz P. Synergies among producer firms, lead users, and user communities: The case of the LEGO producer-user ecosystem // *Journal of Product Innovation Management*. 2014. Vol. 31. No. 4. P. 848–866. <https://doi.org/10.1111/jpim.12127>
27. Howells G. Protecting consumer protection values in the fourth industrial revolution // *Journal of Consumer Policy*. 2020. Vol. 43. No. 1. P. 145–175. <https://doi.org/10.1007/s10603-019-09430-3>
28. Mohammad A.A.S. The effect of brand trust and perceived value in building brand loyalty // *International Research Journal of Finance and Economics*. 2012. Vol. 85. P. 111–126.
29. Moore-Russo D., Grantham K., Lewis K., Bateman S.M. Comparing physical and cyber-enhanced product dissection: Analysis from multiple perspectives // *International Journal of Engineering Education*. 2010. Vol. 26. No. 6. P. 1378–1390.
30. Martin R.S., Newkirk J.W., Koss R.S. Agile software development: principles, patterns, and practices. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003.
31. Sutherland J. Scrum: The art of doing twice the work in half the time. Sydney: Currency, 2014.
32. Chernonog T., Avinadav T. Pricing and advertising in a supply chain of perishable products under asymmetric information // *International Journal of Production Economics*. 2019. Vol. 209. P. 249–264. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.10.002>
33. Gong J., Smith M.D., Telang R. Substitution or promotion? The impact of price discounts on cross-channel sales of digital movies // *Journal of Retailing*. 2015. Vol. 91. No. 2. P. 343–357. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2015.02.002>
34. Peitz M., Waelbroeck P. Piracy of digital products: A critical review of the theoretical literature // *Information Economics and Policy*. 2006. Vol. 18. No. 4. P. 449–476. <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2006.06.005>

35. McAfee A., Brynjolfsson E. *Machine, platform, crowd. Harnessing our digital future.* W.W. Norton & Company, 2017
36. Möhring M., Keller B., Schmidt R., Pietzsch L., Karich L., Berhalter C. Using Smart Edge Devices to Integrate Consumers into Digitized Processes: The Case of Amazon Dash-Button // *BPM, Workshops, LNBIP.* 2018. P. 374–383.
37. Metcalfe R. There oughta be a law // *The New York Times*, July 15, 1996. Section D. P. 7. [Электронный ресурс]: <https://www.nytimes.com/1996/07/15/business/there-oughta-be-a-law.html> (дата обращения 17.04.2023).
38. Metcalfe R. Metcalfe's law after 40 years of Ethernet // *IEEE Computer.* 2013. Vol. 46. No. 12. P. 26–31. <https://doi.org/10.1109/MC.2013.374>
39. Jugel D., Schweda C.M., Zimmermann A. Modeling decisions for collaborative enterprise architecture engineering // *10th Workshop Trends in Enterprise Architecture Research (TEAR), CAISE, Stockholm, Sweden.* 2015. P. 351–362.
40. Vargo S.L., Lusch R.F. Service-dominant logic: continuing the evolution // *Journal of the Academy of Marketing Science.* 2008. Vol. 36. No. 1. P. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11747-007-0069-6>
41. Vargo S.L., Lusch R.F. Institutions and axioms: an extension and update of service-dominant logic // *Journal of the Academy of Marketing Science.* 2016. Vol. 44. No. 4. P. 5–23. <https://doi.org/10.1007/s11747-015-0456-3>
42. Zhu C., Yao Z., Luan J., Zhao F. Network externality on retailer and supplier pricing strategies for competitive products // *The Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS).* 2016.
43. Henfridsson O., Mathiassen L., Svahn F. Managing technological change in the digital age: The role of architectural frames // *Journal of Information Technology.* 2014. Vol. 29. No. 1. P. 27–43. <https://doi.org/10.1057/jit.2013.30>
44. Ahmed C.M., Zhou J. Challenges and opportunities in cyberphysical systems security: A physics-based perspective // *IEEE Security and Privacy.* 2020. Vol. 18. No. 6. P. 14–22. <https://doi.org/10.1109/MSEC.2020.3002851>
45. Agaram V. Knowledge system based design-for-reliability for developing connected intelligent products // *SAE Technical Papers.* 2017. <https://doi.org/10.4271/2017-01-0196>
46. Bajic E., Cea A. Smart objects and services modeling in the supply chain // *IFAC Proceedings Volumes (IFAC – Papers Online).* 2005. Vol. 16. P. 25–30. <https://doi.org/10.3182/20050703-6-cz-1902.01488>
47. Miche M., Schreiber D., Hartmann M. Core services for smart products // *3rd European Workshop on Smart Products.* 2009. P. 1–4.
48. Cronin M.J. *Smart products, smarter services: Strategies for embedded control.* Cambridge University Press, 2010. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511761928>
49. Porter M.E., Heppelmann J.E. How smart, connected products are transforming companies. *Harvard Business Review*, 2015.
50. Dumitrescu R. Utilizing opportunities for the industrial location // Sendler, U. (eds) *The Internet of Things.* Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54904-9_12
51. Anand A., Brix J. The learning organization and organizational learning in the public sector: a review and research agenda // *Learning Organization.* 2021. Vol. 29. No. 2. P. 129–156. <https://doi.org/10.1108/tlo-05-2021-0061>
52. Gianvito L., Pesce D., Tucci C.L. The digital transformation of search and recombination in the innovation function: Tensions and an integrative framework // *Journal of Product Innovation Management.* 2021. Vol. 38. No. 1. P. 90–113.
53. Vial G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda // *The Journal of Strategic Information Systems.* 2019. Vol. 28. No. 2. P. 118–144.
54. Verganti R., Vendraminelli L., Iansiti M. Innovation and design in the age of artificial intelligence // *Journal of Product Innovation Management.* 2020. Vol. 37. No. 3. P. 212–271.
55. Ahmad W., Neil D.T. An evaluation of landsat thematic mapper (TM) digital data for discriminating coral reef zonation: Heron reef (GBR) // *International Journal of Remote Sensing.* 1994. Vol. 15. No. 13. P. 2583–2597. <https://doi.org/10.1080/01431169408954268>
56. Back M.D., Küfner A.C., Egloff B. Automatic or the people? // *Psychological Science.* 2011. Vol. 22. No. 6. P. 837–838. <https://doi.org/10.1177/0956797611409592>
57. Bellanova R. Digital, politics, and algorithms: Governing digital data through the lens of data protection // *European Journal of Social Theory.* 2017. Vol. 20. No. 3. P. 329–347. <https://doi.org/10.1177/1368431016679167>
58. Hedberg T.D., Krma S., Camelio J.A. Method for enabling a root of trust in support of product data certification and traceability // *Journal of Computing and Information Science in Engineering.* 2019. Vol. 19. No. 4. <https://doi.org/10.1115/1.4042839>
59. Oberweis A., Pankratus V., Stucky W. Product lines for digital information products // *Information Systems.* 2007. Vol. 32. No. 6. P. 909–939. <https://doi.org/10.1016/j.is.2006.09.003>
60. Mencarelli R., Rivière A., Lombart C. Do myriad e-channels always create value for customers? A dynamic analysis of the perceived value of a digital information product during the usage phase // *Journal of Retailing and Consumer Services.* 2021. Vol. 63. Article 102674. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102674>
61. Eckert T., Hüsig S. Innovation portfolio management: A systematic review and research agenda in regards to digital service innovations // *Management Review Quarterly.* 2022. Vol. 72. No. 1. P. 187–230. <https://doi.org/10.1007/s11301-020-00208-3>
62. Wang Y., Wang K.L., Yao J.T. Marketing mixes for digital products: A study of the marketplaces in China // *International Journal of Technology Marketing.* 2009. Vol. 4. No. 1. P. 15–42. <https://doi.org/10.1504/IJTMKT.2009.023554>

Об авторе

Шайдудлин Ансель Ильгизович

аспирант, департамент бизнес-информатики, Высшая школа бизнеса, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 119049, Москва, ул. Шаболовка, д. 26;

E-mail: aishajdullin@hse.ru

ORCID: 0000-0002-2653-1745

The problem of interpretation, differentiation and classification of digital products

Ansel I. Shaidullin

E-mail: aishajdullin@hse.ru

HSE University

Address: 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia

Abstract

Digital innovative products often become a significant factor in the revision of companies' business strategies and influence consumer preferences. A key component in the process of formulating such strategies is understanding the implications underlying the attributes of digital products. This requires a good understanding of their nature and characteristics. To date, there is no solid basis for classifying various digital products according to their inherent characteristics. This paper presents a new interpretation of digital products based on the analysis of 2954 scientific articles from the Scopus database. It discusses the problems of differentiation of digital products from other types of products (such as "cyber-physical products," "digitized products," "smart products," etc.). We also developed a new classification of digital products by the method of highlighting their key attributes. The purpose of the study is to develop an advanced classification of digital products based on their differentiation from other types of products. The classification we constructed based on the principles of differentiation will allow innovators and businessmen to create more profound and more advanced business models.

Keywords: digital products, digitalization, physical product, classification, cyber-physical products, bibliometric analysis

Citation: Shaidullin A.I. (2023) The problem of interpretation, differentiation and classification of digital products. *Business Informatics*, vol. 17, no. 2, pp. 55–70. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.55.70

References

1. Hui K.L., Chau P.Y.K. (2002) Classifying digital products. *Communications of the ACM*, vol. 45, no. 6, pp. 73–79. <https://doi.org/10.1145/508448.508451>
2. Adisorn T., Tholen L., Götz T. (2021) Towards a digital product passport fit for contributing to a circular economy. *Energies*, vol. 14, no. 8. <https://doi.org/10.3390/en14082289>
3. Almeida F., Duarte S.J., Monteiro A.J. (2020) The challenges and opportunities in the digitalization of companies in a post-COVID-19 world. *IEEE Engineering Management Review*, vol. 48, no. 3, pp. 97–103. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3013206>
4. Corbet S., Hou Y.G., Hu Y., Larkin C., Lucey B., Oxley L. (2022) Cryptocurrency liquidity and volatility interrelationships during the COVID-19 pandemic. *Finance Research Letters*, vol. 45, article 102137. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102137>
5. Fairgrieve D., Feldschreiber P., Howells G., Pilgerstorfer M.Q.C. (2020) Products in a pandemic: Liability for medical products and the fight against COVID-19. *European Journal of Risk Regulation*, vol. 11, no. 3, pp. 565–603. <https://doi.org/10.1017/err.2020.54>
6. Jin L., Hao Z., Huang J., Akram H.R., Saeed M.F., Ma H. (2021) Depression and anxiety symptoms are associated with problematic smartphone use under the COVID-19 epidemic: The mediation models. *Children and Youth Services Review*, vol. 121, article 105875. <https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2020.105875>
7. Hu Y., Li W. (2011) Document sentiment classification by exploring description model of topical terms. *Computer Speech and Language*, vol. 25, no. 2, pp. 386–403. <https://doi.org/10.1016/j.csl.2010.07.004>
8. De Sordi J.O., Nelson R.E., Meireles M., da Silveira M.A. (2016) Development of digital products and services: Proposal of a framework to analyze versioning actions. *European Management Journal*, vol. 34, no. 5, pp. 564–578. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2016.01.009>
9. Kim M. (2019) Digital product presentation, information processing, need for cognition and behavioral intent in digital commerce. *Journal of Retailing and Consumer Services*, vol. 50, pp. 362–370. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2018.07.011>
10. Kleinsmann M., Ten Bhömer M. (2020) The (new) roles of prototypes during the co-development of digital product service systems. *International Journal of Design*, vol. 14, no. 1, pp. 65–79.
11. U.S. Department of Commerce (1998) *The Emerging Digital Economy*. Available at: https://www.commerce.gov/sites/default/files/migrated/reports/emergingdig_0.pdf (accessed 17 April 2023).
12. Avinadav T., Chernonog T., Perlman Y. (2014) Analysis of protection and pricing strategies for digital products under uncertain demand. *International Journal of Production Economics*, vol. 158, pp. 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.07.021>
13. Gustafsson E., Jonsson P., Holmström J. (2019) Digital product fitting in retail supply chains: Maturity levels and potential outcomes. *Supply Chain Management*, vol. 24, no. 5, pp. 574–589. <https://doi.org/10.1108/SCM-07-2018-0247>
14. Feng J., Yu K. (2020) Moore's law and price trends of digital products: The case of smartphones. *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 29, no. 4, pp. 349–368. <https://doi.org/10.1080/10438599.2019.1628509>
15. Makkonen H., Komulainen H. (2018) Explicating the market dimension in the study of digital innovation: A management framework for digital innovation. *Technology Analysis and Strategic Management*, vol. 30, no. 9, pp. 1015–1028. <https://doi.org/10.1080/09537325.2018.1433823>
16. Christensen C.M. (1997) *The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*. Boston: Harvard Business School Press.
17. Abrosimov Y., Mingaleev G., Snegurenko A. (2020) Organization of enterprise digital infrastructure. *2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*, Vladivostok, Russia, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon50210.2020.9271088>
18. Kim C., Kim D.J. (2017) Uncovering the value stream of digital content business from users' viewpoint. *International Journal of Information Management*, vol. 37, no. 6, pp. 553–565. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.05.004>
19. Demsetz H. (1970) The private provision of public goods. *The Journal of Law and Economics*, vol. 13, no. 2, pp. 293–306. <https://doi.org/10.1086/466695>
20. Kim M., Lennon S. (2008) The effects of visual and verbal information on attitudes and purchase intentions in Internet shopping. *Psychology and Marketing*, vol. 25, no. 2, pp. 146–178.
21. Popkova E.G. (2020) Quality of digital product: Theory and practice. *International Journal for Quality Research*, vol. 14, no. 1, pp. 201–218. <https://doi.org/10.24874/IJQR14.01-13>
22. Martínez-Caro E., Cegarra-Navarro J.G., Alfonso-Ruiz F.J. (2020) Digital technologies and firm performance: The role of digital organisational culture. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 154, article 119962. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119962>
23. Alawneh A., Al-Refai H., Batiha K. (2013) Measuring user satisfaction from e-government services: Lessons from Jordan. *Government Information Quarterly*, vol. 30, no. 3, pp. 277–288. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2013.03.001>
24. Clark B.Y., Brudney J.L., Jang S. (2013) Coproduction of government services and the new information technology: Investigating the distributional biases. *Public Administration Review*, vol. 73, no. 5, pp. 687–701. <https://doi.org/10.1111/puar.12092>
25. Chen C., Lin Y., Chen W., Chao C., Pandia H. (2021) Role of government to enhance digital transformation in small service business. *Sustainability*, vol. 13, no. 3, article 1028. <https://doi.org/10.3390/su13031028>

26. Hienerth C., Lettl C., Keinz P. (2014) Synergies among producer firms, lead users, and user communities: The case of the LEGO producer-user ecosystem. *Journal of Product Innovation Management*, vol. 31, no. 4, pp. 848–866. <https://doi.org/10.1111/jpim.12127>
27. Howells G. (2020) Protecting consumer protection values in the fourth industrial revolution. *Journal of Consumer Policy*, vol. 43, no. 1, pp. 145–175. <https://doi.org/10.1007/s10603-019-09430-3>
28. Mohammad A.A.S. (2012) The effect of brand trust and perceived value in building brand loyalty. *International Research Journal of Finance and Economics*, vol. 85, pp. 111–126.
29. Moore-Russo D., Grantham K., Lewis K., Bateman S.M. (2010) Comparing physical and cyber-enhanced product dissection: Analysis from multiple perspectives. *International Journal of Engineering Education*, vol. 26, no. 6, pp. 1378–1390.
30. Martin R.S., Newkirk J.W., Koss R.S. (2003) *Agile software development: Principles, patterns, and practices*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
31. Sutherland J. (2014) *Scrum: The art of doing twice the work in half the time*. Sydney: Currency.
32. Chernonog T., Avinadav T. (2019) Pricing and advertising in a supply chain of perishable products under asymmetric information. *International Journal of Production Economics*, vol. 209, pp. 249–264. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.10.002>
33. Gong J., Smith M.D., Telang R. (2015) Substitution or promotion? The impact of price discounts on cross-channel sales of digital movies. *Journal of Retailing*, vol. 91, no. 2, pp. 343–357. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2015.02.002>
34. Peitz M., Waelbroeck P. (2006) Piracy of digital products: A critical review of the theoretical literature. *Information Economics and Policy*, vol. 18, no. 4, pp. 449–476. <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2006.06.005>
35. McAfee A., Brynjolfsson E. (2017) *Machine, platform, crowd. Harnessing our digital future*. W.W. Norton & Company.
36. Möhring M., Keller B., Schmidt R., Pietzsch L., Karich L., Berhalter C. (2018) Using smart edge devices to integrate consumers into digitized processes: The case of amazon dash-button. *BPM, Workshops, LNBIP*, pp. 374–383.
37. Metcalfe B. (1996) There oughta be a law. *The New York Times*, July 15, 1996, Section D, p. 7. Available at: <https://www.nytimes.com/1996/07/15/business/there-oughta-be-a-law.html> (accessed 17 April 2023).
38. Metcalfe B. (2013) Metcalfe’s law after 40 years of Ethernet. *IEEE Computer*, vol. 46, no. 12, pp. 26–31. <https://doi.org/10.1109/MC.2013.374>
39. Jugel D., Schweda C.M., Zimmermann A. (2015) Modeling decisions for collaborative enterprise architecture engineering. *10th Workshop Trends in Enterprise Architecture Research (TEAR)*, CAISE, Stockholm, Sweden, pp. 351–362.
40. Vargo S.L., Lusch R.F. (2008) Service-dominant logic: continuing the evolution. *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 36, no. 1, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11747-007-0069-6>
41. Vargo S.L., Lusch R.F. (2016) Institutions and axioms: an extension and update of service-dominant logic. *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 44, no. 4, pp. 5–23. <https://doi.org/10.1007/s11747-015-0456-3>
42. Zhu C., Yao Z., Luan J., Zhao F. (2016) Network externality on retailer and supplier pricing strategies for competitive products. *The Pacific Asia Conference on Information Systems, PACIS 2016*.
43. Henfridsson O., Mathiassen L., Svahn F. (2014) Managing technological change in the digital age: The role of architectural frames. *Journal of Information Technology*, vol. 29, no. 1, pp. 27–43. <https://doi.org/10.1057/jit.2013.30>
44. Ahmed C.M., Zhou J. (2020) Challenges and opportunities in cyberphysical systems security: A physics-based perspective. *IEEE Security and Privacy*, vol. 18, no. 6, pp. 14–22. <https://doi.org/10.1109/MSEC.2020.3002851>
45. Agaram V. (2017) Knowledge system based design-for-reliability for developing connected intelligent products. *SAE Technical Papers*, SAE International. <https://doi.org/10.4271/2017-01-0196>
46. Bajic E., Cea A. (2005) Smart objects and services modeling in the supply chain. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC – Papers Online)*, vol. 16, pp. 25–30. <https://doi.org/10.3182/20050703-6-cz-1902.01488>
47. Miche M., Schreiber D., Hartmann M. (2009) Core services for smart products. *3rd European Workshop on Smart Products*, pp. 1–4.
48. Cronin M.J. (2010) *Smart products, smarter services: Strategies for embedded control*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511761928>
49. Porter M.E., Heppelmann J.E. (2015) *How smart, connected products are transforming companies*. Harvard Business Review.
50. Dumitrescu R. (2018) Utilizing opportunities for the industrial location. *The Internet of Things*. Springer Vieweg (ed. U. Sendler). Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54904-9_12
51. Anand A., Brix J. (2022) The learning organization and organizational learning in the public sector: A review and research agenda. *Learning Organization*, vol. 29, no. 2, pp. 129–156. <https://doi.org/10.1108/tlo-05-2021-0061>
52. Gianvito L., Pesce D., Tucci C.L. (2021) The digital transformation of search and recombination in the innovation function: Tensions and an integrative framework. *Journal of Product Innovation Management*, vol. 38, no. 1, pp. 90–113.
53. Vial G. (2019) Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, vol. 28, no. 2, pp. 118–144.
54. Verganti R., Vendraminelli L., Iansiti M. (2020) Innovation and design in the age of artificial intelligence. *Journal of Product Innovation Management*, vol. 37, no. 3, pp. 212–271.

55. Ahmad W., Neil D.T. (1994) An evaluation of landsat thematic mapper (TM) digital data for discriminating coral reef zonation: Heron reef (GBR). *International Journal of Remote Sensing*, vol. 15, no. 13, pp. 2583–2597. <https://doi.org/10.1080/01431169408954268>
56. Back M.D., Küfner A.C., Egloff B. (2011) Automatic or the people? *Psychological Science*, vol. 22, no. 6, pp. 837–838. <https://doi.org/10.1177/0956797611409592>
57. Bellanova R. (2017) Digital, politics, and algorithms: Governing digital data through the lens of data protection. *European Journal of Social Theory*, vol. 20, no. 3, pp. 329–347. <https://doi.org/10.1177/1368431016679167>
58. Hedberg T.D., Krma S., Camelio J.A. (2019) Method for enabling a root of trust in support of product data certification and traceability. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 19, no. 4. <https://doi.org/10.1115/1.4042839>
59. Oberweis A., Pankratius V., Stucky W. (2007) Product lines for digital information products. *Information Systems*, vol. 32, no. 6, pp. 909–939. <https://doi.org/10.1016/j.is.2006.09.003>
60. Mencarelli R., Rivière A., Lombart C. (2021) Do myriad e-channels always create value for customers? A dynamic analysis of the perceived value of a digital information product during the usage phase. *Journal of Retailing and Consumer Services*, vol. 63, article 102674. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102674>
61. Eckert T., Hüsig S. (2022) Innovation portfolio management: A systematic review and research agenda in regards to digital service innovations. *Management Review Quarterly*, vol. 72, no. 1, pp. 187–230. <https://doi.org/10.1007/s11301-020-00208-3>
62. Wang Y., Wang K.L., Yao J.T. (2009) Marketing mixes for digital products: A study of the marketspaces in China. *International Journal of Technology Marketing*, vol. 4, no. 1, pp. 15–42. <https://doi.org/10.1504/IJTMKT.2009.023554>

About the author

Ansel I. Shaidullin

PhD student, Department of Business Informatics, Higher School of Business, HSE University, 26, Shabolovka st., Moscow 119049, Russia;

E-mail: aishajdullin@hse.ru

ORCID: 0000-0002-2653-1745

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.71.84

Интеллектуальный метод формирования списка требований профиля должности на основе нейросетевых моделей языка с использованием таксономии ESCO и корпуса онлайн-вакансий*

И.Е. Николаев 

E-mail: ivan_nikolaev@csu.ru

Челябинский государственный университет

Адрес: Россия, 454001, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, д. 129

Аннотация

Системы онлайн-рекрутмента за последние годы накопили огромное количество данных о реальном рынке труда. Особый интерес для исследования представляют данные о реальных требованиях рынка труда, содержащихся в текстах онлайн-вакансий, а также процесс их извлечения и структурирования для дальнейшего анализа и использования. Этап составления актуального списка требований для профиля должности в процессе подбора персонала является очень трудоемким и требует от HR-специалиста значительных усилий, связанных с мониторингом изменений целых отраслей и профессий, а также анализом востребованности и актуальности существующих на рынке требований. В данной статье автором предлагается концептуальная модель рекомендательной системы, позволяющая снизить нагрузку на HR-специалиста на этапе формирования актуального списка требований профиля должности в процессе подбора персонала. В основе модели предлагается использовать комбинацию графовой модели требований рынка труда на основе таксономии ESCO, адаптированной для русского языка, и интеллектуального метода формирования рекомендаций для составления актуального списка требований в процессе подбора персонала на основе нейросетевых моделей языка на архитектуре трансформеров, таксономии навыков ESCO и корпуса онлайн-вакансий российского рынка труда. Также в статье приводится концептуальный алгоритм работы рекомендательной системы и возможные варианты рекомендаций по актуализации списка требований профиля должности в процессе подбора персонала на основе анализа потребностей реального рынка труда.

* Статья опубликована при поддержке Программы НИУ ВШЭ «Университетское партнерство»

Ключевые слова: анализ рынка труда, требования рынка труда, человеческие ресурсы, профиль должности, интеллектуальный анализ данных, обработка естественного языка, нейросетевые модели языка

Цитирование: Николаев И.Е. Интеллектуальный метод формирования списка требований профиля должности на основе нейросетевых моделей языка с использованием таксономии ESCO и корпуса онлайн-вакансий // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. № 2. С. 71–84. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.71.84

Введение

В настоящее время подавляющее число компаний закрывают существенную часть своих потребностей в кадрах посредством размещения онлайн-объявлений о вакансиях в системах онлайн-рекрутмента. В таких системах ежедневно генерируется и накапливается огромное количество структурированных и полуструктурированных данных о вакансиях и соискателях (резюме). Для примера можно привести две русскоязычные системы онлайн-рекрутмента hh.ru и superjob, первая насчитывает порядка 57 млн. резюме и более 40 млн. вакансий за период с 2010 по 2020 гг., вторая содержит более 12 млн. вакансий за период с 2010 по 2020 гг.

В этой связи, особенно актуальной становится проблема обработки и извлечения информации из данных онлайн-вакансий, поскольку ее решение позволит моделировать и понимать сложные явления на рынке труда (см., например, [1–6]).

Хотя системы онлайн-рекрутмента де-факто и стали основным источником для соискателей и менеджеров по подбору персонала, они по-прежнему демонстрируют недостатки в поиске, релевантности и точности, поскольку предложения о работе представлены на естественном языке и часто в нескольких синтаксически и лексически разных, но семантически близких формах. Это приводит к тому, что в процессе поиска поисковые запросы подвержены двусмысленности естественного языка и плохо сопоставляются с описанием должностей в онлайн-вакансиях. В частности, запросы, которые являются чрезмерно определенными или непоследовательными, часто не возвращают совпадений, в то время как соответствующие предложения о работе все еще можно было бы найти, если бы проблема согласованности или специфичности поисковых запросов была решена. Если точных совпадений не хватает, часто приходится принимать худшие альтернативы или идти на компромисс с первоначальными требованиями.

Еще одной проблемой является отсутствие инструментов, позволяющих человеку использовать извлеченные из онлайн-вакансий данные в своей профессиональной деятельности. К примеру, при разработке профиля должности в процессе формирования вакансии на замещение должности в компании специалисту HR-специалисту или начальнику соответствующего отдела необходимо потратить существенные усилия для того, чтобы отобрать несколько десятков, а то и сотен, аналогичных или близких вакансий, провести их анализ, извлечь из них список публикуемых требований и обязанностей, провести их анализ и ранжирование, и сверить их с должностными обязанностями той должности, для замещения которой разрабатывается новая вакансия.

Современные рекомендательные системы в целом, и в области рынка труда в частности, в значительной степени зависят от больших объемов ручной обработки данных и экспертных знаний, что делает их дорогостоящими, сложными в обновлении и подверженными ошибкам.

В статье предлагается концептуальная модель рекомендательной системы на основе следующих компонент:

- ◆ графовая модель требований рынка труда основе таксономии ESCO, адаптированной для русского языка;
- ◆ интеллектуальный метод формирования рекомендаций для составления списка требований в процессе подбора персонала на основе нейросетевых моделей языка с использованием таксономии навыков ESCO и корпуса онлайн-вакансий российского рынка труда;
- ◆ модель и концептуальный алгоритм работы автоматизированной рекомендательной системы для формирования рекомендации;
- ◆ возможные варианты рекомендаций по актуализации списка требований профиля должности на основе анализа потребностей рынка труда.

1. Анализ результатов предшествующих работ

В последние годы наблюдается возрастающий интерес к использованию методов искусственного интеллекта (ИИ) для анализа данных на рынке труда – «разведка рынка труда» (LMI, Labor Market Intelligence). LMI означает разработку и использование методов, алгоритмов и структур ИИ для анализа данных рынка труда, которые помогают с планированием политики и принятием решений [7–9].

Например, в работах [10, 11] исследования нацелены на создание рекомендательных систем, которые определяют соответствие между резюме соискателя и вакансией по отдельным компетенциям на уровне определения должности. Другие работы нацелены на определение востребованности определенных навыков [12], которые могут помочь соискателям определить свою образовательную траекторию или направление переподготовки и повысить свой уровень конкурентоспособности.

Благодаря быстрому развитию компьютерной лингвистики и инструментов для анализа текстов на естественном языке (NLP, Natural Language Processing), некоторые ученые пытаются анализировать изменения на рынке труда по текстам онлайн-вакансий на уровне отдельных компетенций [13–16]. Этот подход имеет много преимуществ, так как позволяет выявлять изменения на уровне конкретных профессий и специальностей, а также требований работодателей. Например, он позволяет осуществлять мониторинг онлайн-вакансий в разных регионах и странах в реальном времени, прогнозировать востребованность отдельных навыков, компетенций и технологий в рамках конкретных профессий или отраслей, а также быстро сравнивать аналогичные рынки труда в разных странах и регионах.

Проект Европейского центра по развитию профессионального образования (Cedefop) заслуживает особого внимания, поскольку его целью является сбор и классификация онлайн-вакансий для всей ЕС с помощью машинного обучения [17–19]. Кроме того, в рамках данного проекта проводятся исследования для выявления тенденций на рынке труда и прогнозирования востребованности отдельных навыков. Например, в работе [20] авторы, используя методы интеллектуального анализа текстов, анализируют литературу в категории «четвертая технологическая революция» и сравнивают результаты с новой версией классификации навы-

ков ESCO, чтобы определить в какой степени новая версия классификация навыков ESCO, создаваемая экспертами вручную, отражает тенденции, происходящие на реальном рынке труда.

2. Методы и материалы

2.1. Обзор европейской таксономии навыков ESCO

Способность извлекать ценные знания из больших объемов данных, таких как системы онлайн-рекрутмента, сильно зависят от наличия актуальных баз знаний, таксономии и тезаурусов. Такие ресурсы необходимы для эффективного применения методов машинного обучения и для решения большинства NLP и NLU задач (NLU, Natural Language Understanding).

В настоящее время в основе большого количества проектов по анализу рынка труда используется европейская классификация навыков ESCO. ESCO (европейские навыки, компетенции и профессии) – это многоязычная классификация европейских навыков, компетенций, квалификаций и профессий. В ней определяются и классифицируются навыки, компетенции, квалификации и профессии, соответствующие рынку труда ЕС, образованию и профессиональной подготовке, на 25 европейских языках. Система предоставляет профессиональные профили, показывающие взаимосвязи между профессиями, навыками, компетенциями и квалификацией. ESCO была разработана в открытом ИТ-формате, доступна через онлайн-портал для бесплатного использования.

ESCO структурирована на основе трех взаимосвязанных компонентов, представляющих базу данных с возможностью поиска на 28 языках. Этими основными элементами являются: а) профессиональные профили (профессии), б) навыки/компетенции/знания и в) квалификации, как показано на модели данных ESCO (рис. 1). Первый компонент – профессиональные профили (или профессии) содержит название, описание профессии и показывают, являются ли навыки и компетенции и знания необходимыми или необязательными (опциональными), и какие квалификации имеют отношение к каждой профессии. Второй компонент содержит информацию о знаниях, навыках и компетенциях, а также некоторые групповые концепции. В ESCO v.1 он содержит около 13500 концепций (а если включить альтернативные названия, то почти 100000 формулировок), организованных в иерархию, а также

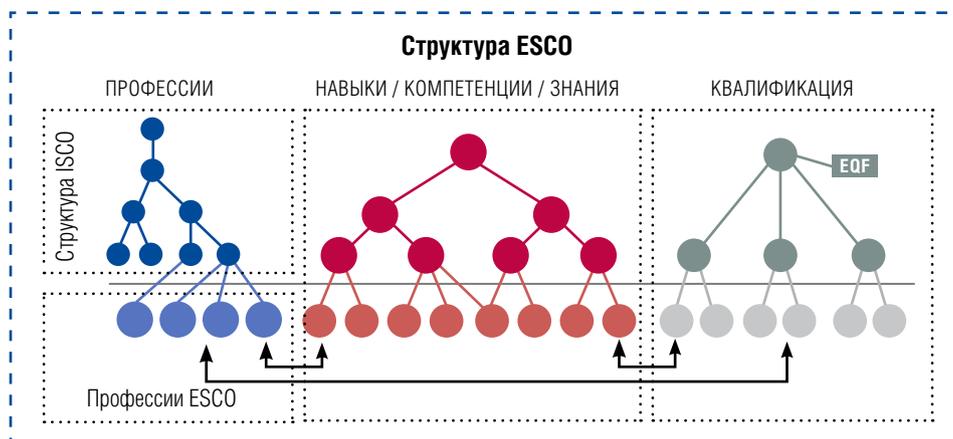


Рис. 1. Модель данных ESCO.

Источник: https://ec.europa.eu/esco/portal/escopedia/ESCO_data_model

структурирован через связь с профессиями. Третий компонент – квалификаций позволяет государствам и присваивающим органам предоставлять данные о квалификациях, которые собираются в ESCO. Квалификации структурированы с использованием Европейской системы квалификаций (EQF) и ISCED Fields of Education and Training 2013.

В настоящий момент отдельными группами учебных предлагаются подходы и алгоритмы автоматического расширения таксономии навыков ESCO на основе открытых данных онлайн-вакансий [21, 22].

Например, для профессии «инженер по компьютерному оборудованию», шифр по ESCO 2152.1.1, в таксономии определено 22 альтернативных названия профессии, неполный список альтернативных названий приведен в *таблице 1*. Также для этой профессии определен ряд сущностей навыков/компетенция и знания, которые необходимы для

этой профессии, каждый из которых также включает в себя список альтернативных названий на естественном языке. Так, например, для этой профессии определено: 47 основных и 25 дополнительных навыков/компетенций, 16 основных и 20 дополнительных знаний, Примеры названия для сущностей навыков/компетенций и знаний, а также их альтернативные названия представлены в *таблице 2*.

Важнейшее преимущество данной классификации заключается в том, что в ней используются формулировки названий профессии, названий навыков/компетенций и знаний, а также их альтернативные названия на естественном языке, что существенно упрощает и расширяет возможности ее применения для анализа текстов онлайн-вакансий реального рынка труда, которые также представлены на естественном языке, современными методами машинного обучения.

2. Модель рекомендательной системы формирования актуальных требований профиля должности

2.1. Обобщенная графовая модель требований рынка труда на основе классификации ESCO и данных из онлайн-вакансий

Представим модель рынка труда как ориентированный граф. За основу возьмем таксономию ESCO.

Определение графовой модели рынка труда на основе таксономии ESCO. Графовая модель представлена в виде кортежа из трех элементов $E = (O, R, S)$, где $O = \{o_1, \dots, o_n\}$ – множество профессий, $S = \{s_1, \dots, s_m\}$ – множество сущностей на-

Таблица 1.

Примеры альтернативных названий для профессии «инженер по компьютерному оборудованию»

Наименование
специалист по компьютерному оборудованию
инженер по компьютерной технике
инженер по аппаратной части ПК
специалист по ИТ-оборудованию

Таблица 2.

Примеры названия для сущностей навык/компетенция и знания для профессии «инженер по компьютерному оборудованию»

Приоритетное название	Альтернативные названия	Тип
собирать аппаратные компоненты	сборка компьютерной техники, установка оборудования, сборка компьютерных комплектующих, сборка компонентов компьютера	навык / компетенция
установка программного обеспечения	установка компьютерного программного обеспечения, загрузка программного обеспечения, установка компьютерного программного обеспечения, загрузка программного обеспечения, ...	навык / компетенция
создавать технические планы	создавать планы относительно технических деталей, создавать промышленные планы, создавать технические чертежи	навык / компетенция
принципы электричества	электрический ток, напряжение, физика электричества, наука об электричестве, теория электричества, сопротивление, напряжение	знания
аппаратные компоненты	аппаратные компоненты системы, типы аппаратных компонентов, компоненты оборудования, компоненты для аппаратных систем, части для аппаратных систем, компоненты аппаратных систем, аппаратные части системы, типология аппаратных компонентов	знания

выков/компетенций и знаний, и $R: O \cdot S \rightarrow B$ — отношение, которое связывает профессию o с навыком s , а именно $r(o, s) = 1$, если навык s связан с профессией o в ESCO, и 0 в противном случае.

Стоит отметить, что одна профессия может быть связана с несколькими сущностями навыков/компетенций и знаний, а одна сущность навыков/компетенций или знаний может относиться к нескольким профессиям (рис. 2).

Определение онлайн-вакансии. Онлайн-вакансия j представлена в виде кортежа $V = (i, c, p, t)$, где $i \in N$ — уникальный идентификатор, $c \in C$ — уникальный идентификатор отрасли, $p \in P$ — уникальный идентификатор профессии вакансии, $t \in T$ — текст требований из вакансии.

2.2. Вычисление важности навыков для профессии

Так как один и тот же навык в структуре ESCO может быть связан с несколькими профессиями, необходим инструмент, позволяющий оценить важность навыка для конкретной профессии.

Оценить важность навыков для каждой профессии можно с помощью инструмента RCA, первоначально использовавшегося в контексте иссле-

ований в США [23], где авторы использовали классификацию навыков O*NET (американский аналог ESCO), чтобы учесть важность каждого навыка для каждой профессии. Важность (частота) навыков для профессий $o_i \in O$ и навыков $s_l \in S$ определяется по формуле (1), где I обозначает функцию индикатор. Функция rca вычисляется по формуле (2), где sf — частота навыка s_l для профессии o_i .

Чтобы получить более понятную меру, мы вычисляем нормализованный rca по формуле (3), нормализуя rca по отношению к максимальному значению, полученному для учитываемой профессии, так что наиболее востребованный навык для каждой профессии имеет нормализованный rca , равный 1.

$$sf(o_i, s_l) = \frac{\sum_{k=1}^m I(o_k = o_i) \cdot I(s_l = s_l)}{\sum_{k=1}^m I(o_k = o_i)}, \tag{1}$$

$$rca(o_i, s_l) = \frac{sf(o_i, s_l) / \sum_{j=1}^p sf(o_i, s_j)}{\sum_{k=1}^m sf(o_k, s_l) / \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^p sf(o_k, s_j)}, \tag{2}$$

$$rca_N(o_i, s_l) = \frac{rca(o_i, s_l)}{\max_j rca(o_i, s_l)}. \tag{3}$$

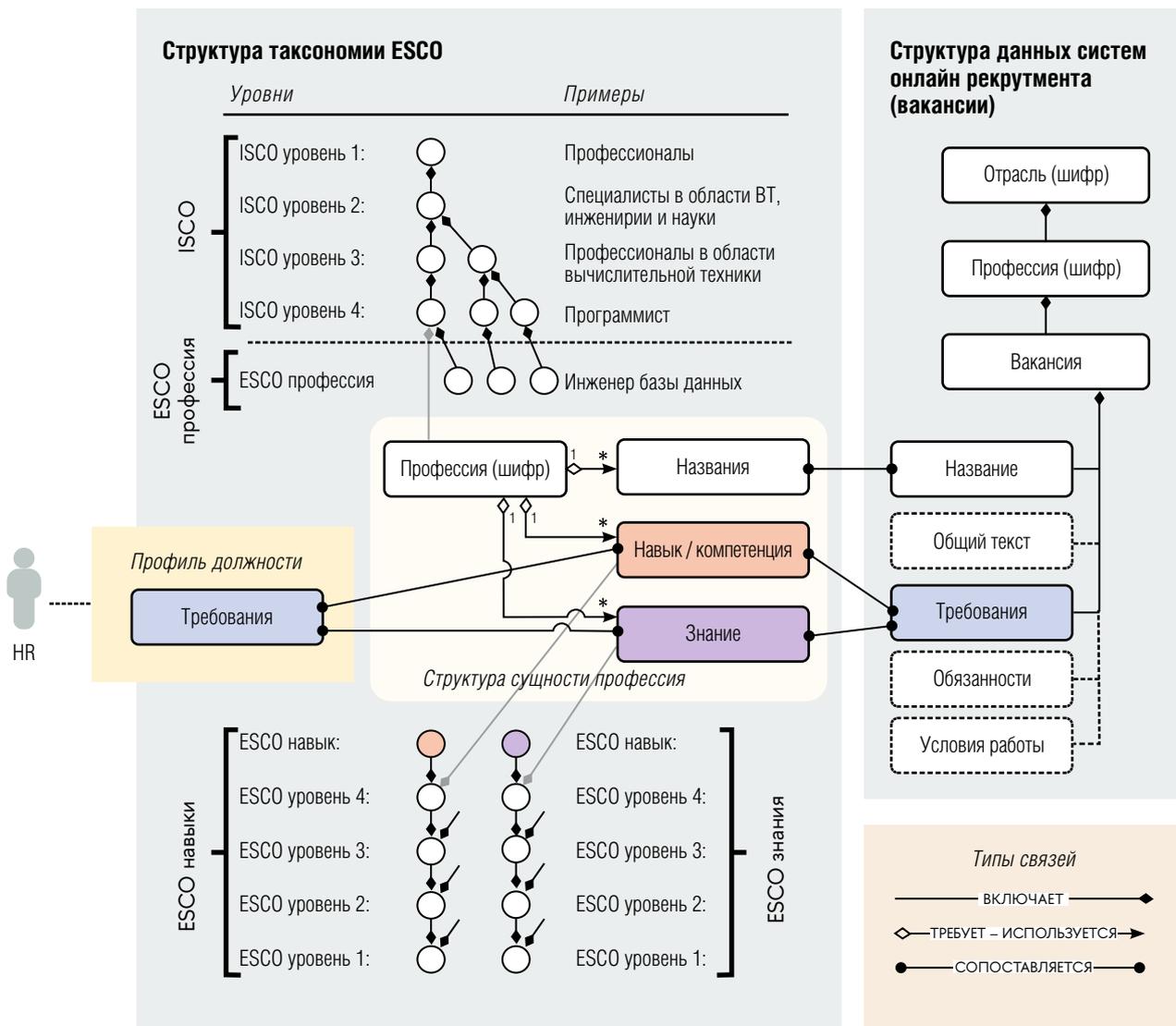


Рис. 2. Основные сущности и отношения в обобщенной графовой модели требований рынка труда на основе классификации ESCO.

2.3. Формирование рекомендаций на основе семантического сопоставления первоначального списка требований из профиля должности с графовой моделью рынка труда

Идея метода формирования рекомендаций по актуализации списка требований при составлении профиля должности исходит из семантического сопоставления отдельных сущностей из первоначального списка требований и сущностей из графовой модели рынка труда.

В предлагаемом методе можно выделить следующих этапы:

1. Создание графовой модели рынка труда на основе классификации навыков ESCO.

2. Расширение графовой модели за счет информации из текстов онлайн-вакансий реального рынка труда.
3. Сопоставление исходного списка требований с сущностями графовой модели рынка труда.
4. Ранжирование результатов сопоставления на основе метрики RCA.
5. Формирование рекомендаций для внесения в исходный список требований.

Шаги 3–5 могут повторяться несколько раз, что позволит с каждой новой итерацией формировать более точный и актуальный список требований.

Модель рекомендательной системы представлена на рисунке 3.

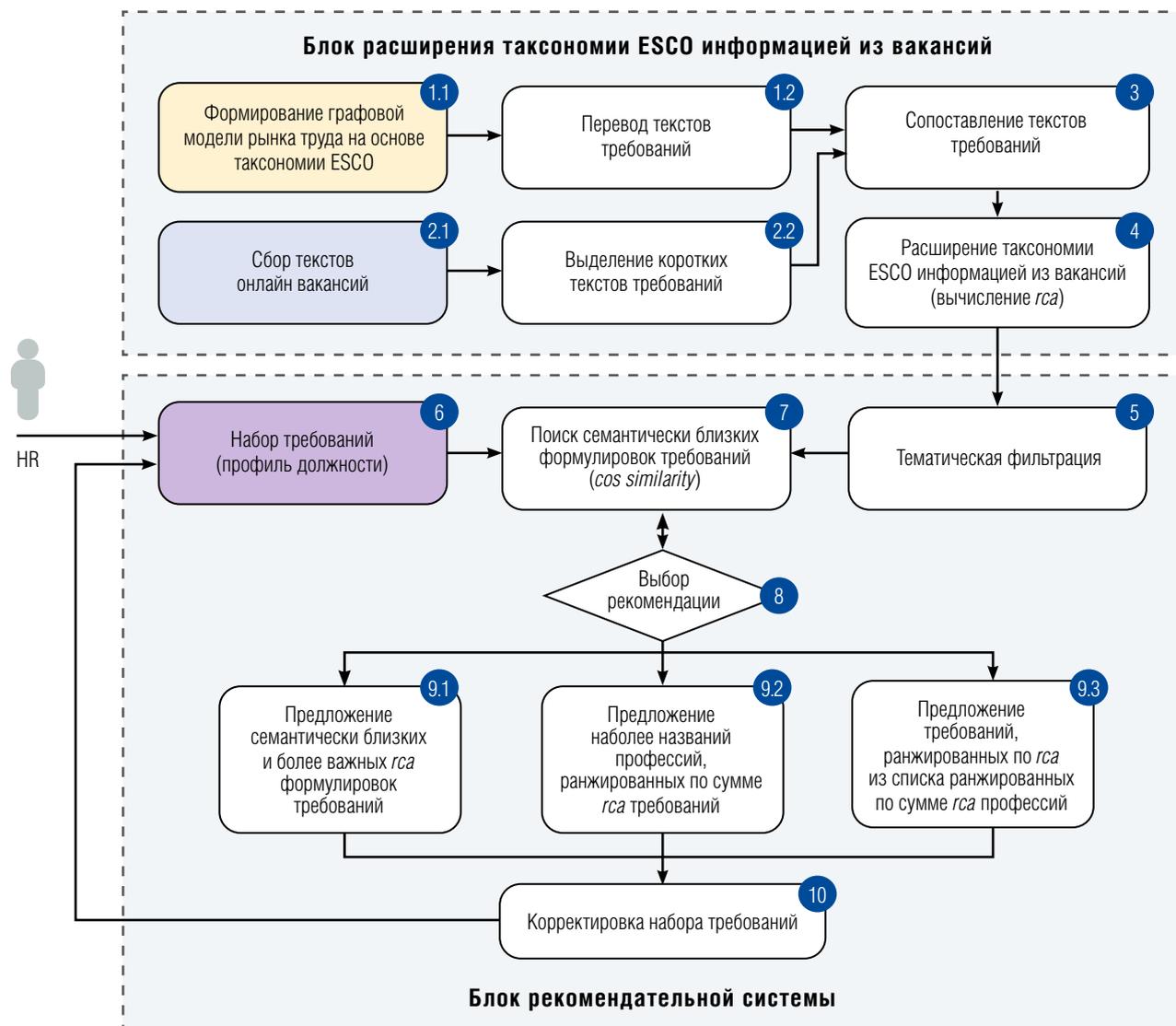


Рис. 3. Модель рекомендательной системы по актуализации списка требований при составлении профиля должности.

3. Концептуальный алгоритм функционирования системы

Концептуальный алгоритм – это абстрактное описание процесса решения задачи или выполнения определенного действия без указания конкретных инструкций или языка программирования. Это понятие используется в информатике, математике и других научных областях, где важен процесс решения задачи, а не конкретный код или программный язык. В научных публикациях данный термин может использоваться для обсуждения общих подходов к решению задач, без привязки к конкретным технологиям или реализациям.

Результатом работы стала разработка концептуального алгоритма работы рекомендательной системы:

1.1. Формирование графовой модели рынка труда на основе европейской таксономии навыков ESCO (см. описание графовой модели).

1.2. Адаптация графовой модели навыков рынка труда для русского языка. С помощью сервисов автоматического перевода переводятся все формулировки европейской таксономии навыков, при этом структура связей между сущностями таксономии сохраняется.

2.1. Сбор онлайн-вакансий из российских систем онлайн-рекрутмента. Многие системы онлайн-ре-

крутмента поддерживают открытый API для получения данных о вакансиях (например, api.hh.ru, api.superjob.ru и др.).

2.2. Выделение коротких текстов требований из текстов вакансий. Есть несколько возможных вариантов выделения коротких текстов требований из текстов вакансий:

- ◆ поиск прямых совпадения формулировок сущностей из графовой модели рынка труда с текстами из онлайн-вакансий;
- ◆ разработка правил и поиск совпадений на основе правил (например, использовать `yargy`-парсер из библиотеки `natasha` для `python` (<https://natasha.github.io/>);
- ◆ и третий вариант, подготовка обучающего датасета и обучение модели под задачу NER. Например, используя нейросетевые модели для анализа текстов на естественном языке из библиотеки `deeppavlov` (<https://deeppavlov.ai/>) разработанной инновационной ИИ-компанией – `iPavlov`, спин-офф МФТИ. Продолжение успешного проекта «Нейроинтеллект `iPavlov`», реализованного в рамках НТИ, при индустриальной поддержке Сбербанка.

3. Сопоставление текстов требований из онлайн-вакансий с сущностями графовой модели требований рынка труда. На данном шаге предполагается использовать простое сопоставление и поиск совпадений между нормализованными (приведенных к нормальной форме) текстами требований, извлеченных из текстов онлайн-вакансий и сущностями графовой модели.

Одним из возможных улучшений данного шага можно предложить использование русскоязычной версии тезауруса `ruwordnet` [24], который содержит отношения гипонимов, гиперонимов, а также словарь синонимов для русского языка. Использование данной информации позволит расширить список вариации текстов требований при сопоставлении.

4. Для всех формулировок графовой модели считается параметр *rsa*, который фактически обозначает важность навыка для конкретной профессии.

Стоит отметить, что расширение таксономии ESCO может происходить не просто статистическими данными, но и может представлять собой более сложный процесс, например, поиск новых формулировок навыков/компетенций или знаний и их интегрирование в существующую графовую модель [21,22].

5. Тематическая фильтрация. На данном шаге, используя инструменты тематического моделирования, пользователю могут быть предложены термины и понятия, автоматически сгруппированные по темам. Пользователь может выбрать список слов или понятий, которые в обязательном порядке должны содержаться или отсутствовать в текстах итоговой выдачи. Возможность применения такого тематического фильтра была продемонстрирована автором в статье [25].

6. Пользователем системы (например, HR-специалистом) формируется первоначальный набор требований и подается на вход системы.

7. Сопоставление текстов требований из запроса пользователя и сущностей из графовой модели рынка труда. В данном случае предполагается использовать более интеллектуальный процесс сопоставления, который можно разбить на два этапа: с помощью современных нейросетевых моделей, построенных на архитектуре трансформеров (`RuBERT`, `Robert` и другие) для текстов требований пользователя и для сущностей графовой модели получаются векторные представления. Затем, используя конусную меру близости, попарно сопоставляются векторные представления. Далее отсекаются все тексты требований, которые лежат за пределами некоторого допустимого расстояния (определяется экспериментально), и которые являются наиболее семантически близкими к тексту исходного требования. Так определяются семантически близкие тексты требований из графовой модели для всех текстов из исходного списка требований пользователя

Алгоритм выбора наиболее эффективной нейросетевой модели, которая бы позволила генерировать наилучшие (с точки зрения компактности) векторные представления для семантически близких текстов требований был рассмотрен автором в статье [26].

8. Пользователь выбирает какой тип рекомендации он хотел бы сформировать для исходного списка требований.

9.1. Семантически близкие тексты из графовой модели, отобранные на шаге 7 ранжируются по параметру *rsa*. Отранжированные формулировки демонстрируются пользователю, с указанием параметра *rsa* и профессии. Фактически на этом этапе пользователь получает возможность выбрать наиболее важные и семантически близкие требования, и принимает решение о добавлении предлагаемых требований к своему первоначальному списку.

9.2. Семантически близкие тексты из графовой модели, отобранные на шаге 6, ранжируются по параметру rca . Для совокупности требований исходного списка отбираются формулировки с наибольшим rca . По всем требованиям и профессиям считается сумма. Профессии ранжируются по сумме rca для исходного списка требований (рис. 4). Из графовой модели отбираются n названия профессии на основе наибольшей суммы rca для исходного списка требований пользователя и демонстрируются пользователю.

9.3. Также как в 9.2 вычисляется сумма rca . Из графовой модели отбираются n профессии на основе наибольшей суммы rca для исходного списка требований пользователя (рис. 4). Из каждой отобранной профессии отбираются m наиболее важных по rca текстов навыков/компетенций или знаний и демонстрируются пользователю.

Шаг 10. После изучения предложенных рекомендаций пользователь системы может выбрать варианты, которые будут добавлены в первоначальный список требований.

Шаги с 5 по 10 могут повторяться неоднократно, что позволит итеративно уточнять и улучшать первоначальный список требований, заданных пользователем.

Примеры возможных вариантов модификации набора требований профиля должности на основе сформированных рекомендаций:

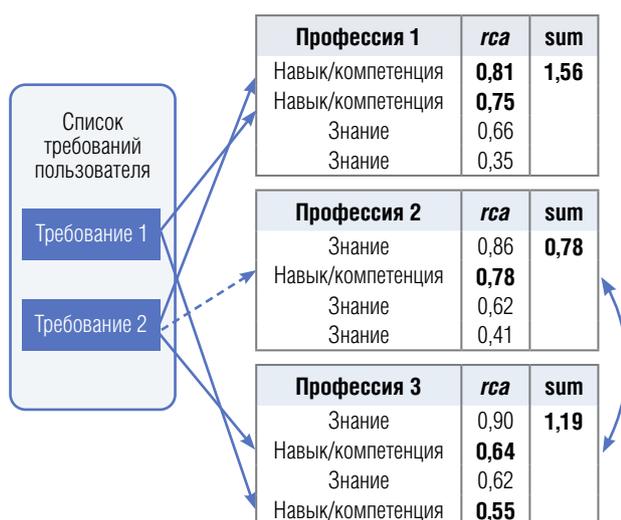


Рис. 4. Ранжирование профессии по сумме rca для исходного списка требований.

- ♦ Предложить новую альтернативную формулировку для существующего требования на основе более высокого rca .
- ♦ Предложить включить новое требование в профиль должности на основе высокого rca с учетом взаимосвязи с существующими требованиями.
- ♦ Рекомендовать исключить требование из профиля должности на основе низкого rca с учетом взаимосвязи с существующими требованиями.
- ♦ Разбить требования на категории по принадлежности к профессиям
- ♦ Предложить название должности исходя из списка требований профиля должности.
- ♦ Ранжирование требований по их востребованности на основе показателя rca .

Список рекомендаций может быть скорректирован в сторону расширения путем добавления новых функциональных блоков в систему.

Вычислительная сложность всей системы оценивается как невысокая. Наиболее трудоемкие этапы, такие как извлечение сущностей знаний, навыков и компетенций из текстов вакансий, а также их векторного представления происходят один раз и могут происходить в фоновом режиме. Тематическая фильтрация и подсчет rca являются относительно простыми вычислительными операциями. Наиболее сложной, с точки зрения вычислительной сложности, представляет собой операция ранжирования большого количества требований относительно друг друга на основе косинусной меры близости. Для выполнения высокопроизводительного поиска похожих векторов требований планируется использовать библиотеку FAISS (Facebook AI Similarity Search) [26, 27]. Данная библиотека предоставляет собой набор алгоритмов для индексации больших наборов векторов и быстрого поиска ближайших соседей в этих наборах. Библиотека была разработана Facebook AI Research и распространяется на условиях лицензии Apache 2.0.

Заключение

Разработка рекомендательной системы для формирования актуального списка требований профиля должности на основе анализа реальных требований рынка труда является важным шагом в развитии HR-технологий и позволит: значительно сократить трудозатраты HR специалистов, более точно и системно определять требования к кандидатам на различные должности; определить потенциальные возможности для переподготов-

ки работников, лучше понимать, как изменения в требованиях рынка труда влияют на компании и их персонал, формировать более гибкие и адаптивные стратегии привлечения и управления персоналом.

Предложенная концептуальная модель рекомендательной системы включает в себя:

- ◆ Графовую модель требований рынка труда на основе таксономии ESCO, адаптированной для русского языка;
- ◆ Интеллектуальный метод формирования рекомендаций для составления списка требований в процессе подбора персонала на основе нейросетевых моделей языка с использованием таксономии навыков ESCO и корпуса онлайн-вакансий российского рынка труда. В рамках метода предлагается использовать нейросетевые модели языка, построенные на архитектуре трансформеров (модели семейства BERT) для оценки семантической близости сущностей первоначального списка требований с графовой моделью рынка труда;
- ◆ Модель и концептуальный алгоритм работы автоматизированной рекомендательной системы для формирования рекомендации.

В статье также приводятся возможные варианты рекомендаций по актуализации списка требований профиля должности на основе анализа потребностей реального рынка труда.

Для улучшения данной модели автором дополнительно планируется: разработка метода извлечения отдельных коротких текстов знаний и навыков из текстов требований онлайн-вакансий реального рынка труда; разработка системы автоматического расширения графовой модели текстами знаний и навыков; интеграция расширенной графовой модели требований рынка труда через международную систему классификации занятий (ISCO, International Classification System Of Occupations) с общероссийскими классификаторами (ОКЗ – общероссийский классификатор занятий, ОКВЕД – общероссийский классификатор видов экономической деятельности), и профессиональными стандартами РФ. Кроме того, отдельной и важной задачей является разработка метода оценки качества и исследование эффективности использования рекомендательной системы на основе предложенной модели в различных секторах экономики и на различных рынках труда. ■

Литература

1. Boselli R., Cesarini M., Mercorio F. Using machine learning for labour market intelligence // *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases: European Conference*. 2017. P. 330–342. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71273-4_27
2. Colombo E., Mercorio F., Mezzanzanica M. AI meets labor market: Exploring the link between automation and skills // *Information Economics and Policy*. 2019. Vol. 47. P. 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2019.05.003>
3. Giabelli A., Malandri L., Mercorio F. GraphLMI: A data driven system for exploring labor market information through graph databases // *Multimedia Tools and Applications*. 2022. Vol. 81. P. 3061–3090. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09115-x>
4. Mezzanzanica M., Boselli R., Cesarini M., Mercorio F. A model-based approach for developing data cleansing solutions // *Journal of Data and Information Quality*. 2015. Vol. 5. No. 4. P. 1–28. <https://doi.org/10.1145/2641575>
5. Xu T., Zhu H., Zhu C., Li P., Xiong H. Measuring the popularity of job skills in recruitment market: A multi-criteria approach // *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 2018. Vol. 32. No. 1. <https://doi.org/10.1609/aaai.v32i1.11847>
6. Zhang D., Liu J., Zhu H., Liu Y., Wang L., Wang P., Xiong H. Job2Vec: Job title benchmarking with collective multi-view representation learning // *Proceedings of the 28th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*. 2019. P. 2763–2771. <https://doi.org/10.1145/3357384.3357825>
7. Важность LMI / Комиссия Великобритании по трудоустройству и профессиональным навыкам. 2015. [Электронный ресурс] <https://www.gov.uk/government/publications/the-importance-of-labour-market-intelligence> (дата обращения 30.01.2023).
8. Mezzanzanica M., Mercorio F. Big data enables labor market // *Encyclopedia of Big Data Technologies*. 2019. P. 226–236. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63962-8_276-1
9. Eggertsson T. *Economic behavior and institutions: Principles of neoinstitutional economics*. Cambridge University Press, 1990. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511609404>
10. Qin C., Zhu H., Xu T., Zhu C., Jiang L., Chen E., Xiong H. Enhancing person-job fit for talent recruitment: An ability-aware neural network approach // *The 41st international ACM SIGIR conference on research & development in information retrieval*. 2018. P. 25–34. <https://doi.org/10.1145/3209978.3210025>
11. Zhu C., Zhu H., Xiong H., Ma C., Xie F., Ding P., Li P. Person-job fit: Adapting the right talent for the right job with joint representation learning // *ACM Transactions on Management Information Systems*. 2018. Vol. 9. No. 3. P. 1–17. <https://doi.org/10.1145/3234465>

12. Xu T., Zhu H., Zhu C., Li P., Xiong H. Measuring the popularity of job skills in recruitment market: A multi-criteria approach // Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence. 2018. Vol. 32. No. 1. <https://doi.org/10.1609/aaai.v32i1.11847>
13. Vinel M., Ryazanov I., Botov D., Nikolaev I. Experimental comparison of unsupervised approaches in the task of separating specializations within professions in job vacancies // Artificial Intelligence and Natural Language. AINL 2019. Communications in Computer and Information Science. Ustalov, D., Filchenkov, A., Pivovarova, L. (eds). Vol. 1119. Springer, Cham, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34518-1_7
14. Nikolaev I., Ryazanov I., Botov D. The comparison of distributive semantics models applied to the task of short job requirements clustering for the Russian labor market // 8th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS 2020). Atlantis Press, 2020. P. 295–301. <https://doi.org/10.2991/aisr.k.201029.056>
15. Colombo E., Mercurio F., Mezzanzanica M. Applying machine learning tools on web vacancies for labour market and skill analysis // Terminator or the Jetsons? The Economics and Policy Implications of Artificial Intelligence. Technology Policy Institute Conference on the Economics and Policy Implications of Artificial Intelligence. [Электронный ресурс] https://techpolicyinstitute.org/wp-content/uploads/2021/03/Colombo_paper.pdf (дата обращения 30.05.2023).
16. O’Kane L., Narasimhan R., Nania J., Taska B. Digitalization in the German labor market: Analyzing demand for digital skills in job vacancies // Gütersloh: Bertelsmann Stiftung, 2020.
17. Real-time labour market information on skill requirements: Setting up the EU system for online vacancy analysis / Cedefop. [Электронный ресурс] <https://www.cedefop.europa.eu/it/about-cedefop/public-procurement/real-time-labour-market-information-skill-requirements-setting-eu> (дата обращения 30.01.2023).
18. Boselli R., Cesarini M., Mercurio F., Mezzanzanica M. Classifying online job advertisements through machine learning // Future Generation Computer Systems. 2018. Vol. 86. P. 319–328. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.03.035>
19. Boselli R., Cesarini M., Marrara S., Mercurio F., Mezzanzanica M., Pasi G., Viviani M. WoLMIS: a labor market intelligence system for classifying web job vacancies // Journal of intelligent information systems. 2018. Vol. 51. P. 477–502. <https://doi.org/10.1007/s10844-017-0488-x>
20. Chiarello F., Fantoni G., Hogarth T., Giordano V., Baltina L., Spada I. Towards ESCO 4.0 – Is the European classification of skills in line with Industry 4.0? A text mining approach // Technological Forecasting and Social Change. 2021. Vol. 173. Article 121177. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121177>
21. Giabelli A., Malandri L., Mercurio F., Mezzanzanica M., Seveso A. NEO: A tool for taxonomy enrichment with new emerging occupations // The Semantic Web – ISWC 2020. Lecture Notes in Computer Science. 2020. Vol. 12507. P. 568–584. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62466-8_35
22. Malandri L., Mercurio F., Mezzanzanica M., Nobani N. Meet: A method for embeddings evaluation for taxonomic data // 2020 International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW). P. 31–38. <https://doi.org/10.1109/ICDMW51313.2020.00014>
23. Alabdulkareem A., Frank M.R., Sun L., AlShebli B., Hidalgo C., Rahwan I. Unpacking the polarization of workplace skills // Science advances. 2018. Vol. 4. No. 7. Article eaa06030. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aao6030>
24. Тезаурус русского языка RuWordNet. [Электронный ресурс] <https://ruwordnet.ru/ru> (дата обращения 30.05.2023).
25. Nikolaev I., Botov D., Dmitrin Y., Klenin J., Melnikov A. Use of topic modelling for improvement of quality in the task of semantic search of educational courses // 21st International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT 2019). Atlantis Press, 2019. P. 104–111. <https://doi.org/10.2991/csit-19.2019.18>
26. Николаев И.Е., Мельников А.В. Сравнение нейросетевых моделей на архитектуре трансформеров в контексте задачи оценки компактности векторных представлений семантически близких текстов требований европейской классификации навыков ESCO // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2022. № 3. С. 19–29. <https://doi.org/10.14529/ctcr220302>.
27. Faiss. A library for efficient similarity search and clustering of dense vectors. [Электронный ресурс] <https://faiss.ai/> (дата обращения 30.05.2023).
28. Johnson J., Douze M., Jégou H. Billion-scale similarity search with gpus // IEEE Transactions on Big Data. 2019. Vol. 7. No. 3. P. 535–547.

Об авторе

Николаев Иван Евгеньевич

старший преподаватель, кафедра информационных технологий и экономической информатики, Челябинский государственный университет, 454001, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129;

E-mail: ivan_nikolaev@csu.ru

ORCID: 0000-0002-9686-2435

An intelligent method for generating a list of job profile requirements based on neural network language models using ESCO taxonomy and online job corpus

Ivan E. Nikolaev

E-mail: ivan_nikolaev@csu.ru

Chelyabinsk State University

Address: 129, Kashirin Brothers Str., Chelyabinsk 454001, Russia

Abstract

Online recruitment systems have accumulated a huge amount of data on the real labor market in recent years. Of particular interest to the study are the data on the real requirements of the labor market contained in the texts of online vacancies, as well as the process of extracting and structuring them for further analysis and use. The stage of compiling an up-to-date list of requirements for a position profile in the recruitment process is very time-consuming and requires a large amount of effort from an HR specialist related to monitoring changes in entire industries and professions, as well as analyzing relevance of existing requirements on the market. In this article, the author proposes a conceptual model of a recommendation system that allows one to reduce the burden on an HR specialist at the stage of forming an up-to-date list of requirements for a position profile in the recruitment process. The model is based on a combination of the following components: a graph model of labor market requirements based on the ESCO taxonomy adapted for the Russian language; and an intelligent method of forming recommendations for compiling an up-to-date list of requirements in the recruitment process based on neural network models of the language on the architecture of transformers, ESCO skills taxonomy and corpus online vacancies of the Russian labor market. The article also provides a conceptual algorithm for the work of the recommendation system and possible options for recommendations on updating the list of requirements of the position profile in the recruitment process based on an analysis of the needs of the real labor market.

Keywords: labor market analysis, labor market requirements, human resources, job profile, data mining, natural language processing, neural network language models

Citation: Nikolaev I.E. (2023) An intelligent method for generating a list of job profile requirements based on neural network language models using ESCO taxonomy and online job corpus. *Business Informatics*, vol. 17, no. 2, pp. 71–84. DOI: [10.17323/2587-814X.2023.2.71.84](https://doi.org/10.17323/2587-814X.2023.2.71.84)

References

1. Boselli R., Cesarini M., Mercorio F. (2017) Using machine learning for labour market intelligence. *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases: European Conference*, pp. 330–342. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71273-4_27
2. Colombo E., Mercorio F., Mezzanzanica M. (2019) AI meets labor market: Exploring the link between automation and skills. *Information Economics and Policy*, vol. 47, pp. 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2019.05.003>
3. Giabelli A., Malandri L., Mercorio F. (2022) GraphLMI: A data driven system for exploring labor market information through graph databases. *Multimedia Tools and Applications*, vol. 81, pp. 3061–3090. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09115-x>
4. Mezzanzanica M., Boselli R., Cesarini M., Mercorio F. (2015) A model-based approach for developing data cleansing solutions. *Journal of Data and Information Quality*, vol. 5, no. 4, pp. 1–28. <https://doi.org/10.1145/2641575>
5. Xu T., Zhu H., Zhu C., Li P., Xiong H. (2018) Measuring the popularity of job skills in recruitment market: A multi-criteria approach. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, vol. 32, no. 1. <https://doi.org/10.1609/aaai.v32i1.11847>
6. Zhang D., Liu J., Zhu H., Liu Y., Wang L., Wang P., Xiong H. (2019) Job2Vec: Job title benchmarking with collective multi-view representation learning. *Proceedings of the 28th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*, pp. 2763–2771. <https://doi.org/10.1145/3357384.3357825>
7. *The importance of LMI* (2015) UK Commission for Employment and Skills. Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/the-importance-of-labour-market-intelligence> (accessed 30.01.2023).
8. Mezzanzanica M., Mercorio F. (2019) Big data enables labor market intelligence. *Encyclopedia of Big Data Technologies*, pp. 226–236. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63962-8_276-1
9. Eggertsson T. (1990) *Economic behavior and institutions: Principles of neoinstitutional economics*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511609404>
10. Qin C., Zhu H., Xu T., Zhu C., Jiang L., Chen E., Xiong H. (2018) Enhancing person-job fit for talent recruitment: An ability-aware neural network approach. *Proceedings of the 41st International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval (SIGIR '18)*, pp. 25–34. <https://doi.org/10.1145/3209978.3210025>
11. Zhu C., Zhu H., Xiong H., Ma C., Xie F., Ding P., Li P. (2018) Person-job fit: Adapting the right talent for the right job with joint representation learning. *ACM Transactions on Management Information Systems*, vol. 9, no. 3, pp. 1–17. <https://doi.org/10.1145/3234465>
12. Xu T., Zhu H., Zhu C., Li P., Xiong H. (2018) Measuring the popularity of job skills in recruitment market: A multi-criteria approach. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, vol. 32, no. 1. <https://doi.org/10.1609/aaai.v32i1.11847>
13. Vinel M., Ryazanov I., Botov D., Nikolaev I. (2019) Experimental comparison of unsupervised approaches in the task of separating specializations within professions in job vacancies. *Artificial Intelligence and Natural Language. AINL 2019. Communications in Computer and Information Science* (eds. D. Ustalov, A. Filchenkov, L. Pivovarova), vol. 1119. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34518-1_7
14. Nikolaev I., Ryazanov I., Botov D. (2020) The comparison of distributive semantics models applied to the task of short job requirements clustering for the Russian labor market. *Proceedings of the 8th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS 2020)*. Atlantis Press, pp. 295–301. <https://doi.org/10.2991/aisr.k.201029.056>
15. Colombo E., Mercorio F., Mezzanzanica M. (2018) Applying machine learning tools on web vacancies for labour market and skill analysis. *Terminator or the Jetsons? The Economics and Policy Implications of Artificial Intelligence. Technology Policy Institute Conference on the Economics and Policy Implications of Artificial Intelligence*. Available at: https://techpolicyinstitute.org/wp-content/uploads/2021/03/Colombo_paper.pdf (accessed 30 May 2023).
16. O’Kane L., Narasimhan R., Nania J., Taska B. (2020) *Digitalization in the German labor market: Analyzing demand for digital skills in job vacancies*. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.
17. *Real-time labour market information on skill requirements: Setting up the EU system for online vacancy analysis* (2016) Cedefop. Available at: <https://www.cedefop.europa.eu/it/about-cedefop/public-procurement/real-time-labour-market-information-skill-requirements-setting-eu> (accessed 30 January 2023).
18. Boselli R., Cesarini M., Mercorio F., Mezzanzanica M. (2018) Classifying online job advertisements through machine learning. *Future Generation Computer Systems*, vol. 86, pp. 319–328. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.03.035>
19. Boselli R., Cesarini M., Marrara S., Mercorio F., Mezzanzanica M., Pasi G., Viviani M. (2018) WoLMIS: A labor market intelligence system for classifying web job vacancies. *Journal of Intelligent Information Systems*, vol. 51, pp. 477–502. <https://doi.org/10.1007/s10844-017-0488-x>
20. Chiarello F., Fantoni G., Hogarth T., Giordano V., Baltina L., Spada I. (2021) Towards ESCO 4.0 – Is the European classification of skills in line with Industry 4.0? A text mining approach. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 173, article 121177. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121177>
21. Giabelli A., Malandri L., Mercorio F., Mezzanzanica M., Seveso A. (2020) NEO: A tool for taxonomy enrichment with new emerging occupations. *The Semantic Web – ISWC 2020. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 12507, pp. 568–584. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62466-8_35

22. Malandri L., Mercorio F., Mezzanica M., Nobani N. (2020) Meet: A method for embeddings evaluation for taxonomic data. *Proceedings of the 2020 International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*, pp. 31–38. Sorrento, Italy. <https://doi.org/10.1109/ICDMW51313.2020.00014>
23. Alabdulkareem A., Frank M.R., Sun L., AlShebli B., Hidalgo C., Rahwan I. (2018) Unpacking the polarization of workplace skills. *Science Advances*, vol. 4, no. 7, eaao6030. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aao6030>
24. *The Russian language Thesaurus RuWordNet*. Available at: <https://ruwordnet.ru/ru> (accessed 30 May 2023).
25. Nikolaev I., Botov D., Dmitrin Y., Klenin J., Melnikov A. (2019) Use of topic modelling for improvement of quality in the task of semantic search of educational courses. *Proceedings of the 21st International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT 2019)*, pp. 104–111. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/csit-19.2019.18>
26. Nikolaev I., Melnikov A. (2022) Comparison of neural network models based on transformer architecture in the context of the task of evaluating the compactness of vector representations of semantically similar texts of the requirements of the European ESCO skills classification. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer Technology, Control, Radio Electronics*, vol. 22, no. 3, pp. 19–29.
27. Faiss. *A library for efficient similarity search and clustering of dense vectors*. Available at: <https://faiss.ai/> (accessed 30 May 2023).
28. Johnson J., Douze M., Jégou H. (2019) Billion-scale similarity search with gpus. *IEEE Transactions on Big Data*, vol. 7, no. 3, pp. 535–547.

About the author

Ivan E. Nikolaev

Senior Lecturer, Department of Information Technology, Institute of Information Technologies, Chelyabinsk State University, 129, Kashirin Brothers Str., Chelyabinsk 454001, Russia;

E-mail: ivan_nikolaev@csu.ru

ORCID: 0000-0002-9686-2435

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.85.97

The present and future of the digital transformation of real estate: A systematic review of smart real estate

F. Wang 

E-mail: fwang@hse.ru

HSE University

Address: 3A-1, Kantemirovskaya Street, St. Petersburg 194100, Russia

Abstract

The contribution of the real estate industry to the global and regional economy is remarkable, yet in today's evolving digital technology and digital economy, the digital transformation of the real estate industry is lagging behind other industries. This is, on the one hand, due to the solidified processes and systems linked to the upstream and downstream real estate industries, and, on the other hand, due to the fact that digital technology disrupts traditional ways of doing business, making the industry full of uncertainty. The digital transformation of the real estate industry is a broad and emerging concept. Various related research fields are concerned with the penetration and application of different innovative technologies to the industry. This study provides a systematic review focusing on the field of smart real estate using the bibliometric analysis approach under the guidance of PRISMA. The bibliometric analyses were performed in RStudio by utilizing 22 scientific documents indexed in Scopus and Web of Science that were published from 2012 to 2022. The findings suggest that: (i) smart real estate research is still a new but rapidly emerging field; (ii) only limited academic institutions from a few countries, such as the University of New South Wales in Australia, have shown significant contributions; (iii) the research exhibits specific collaborative network characteristics, leading to a high concentration of authors and citations; and (iv) data-driven topics such as "machine learning," "information management," "data analytics" and "big data" indicate a high degree of research density and centrality.

Keywords: smart real estate, digital transformation, digital economy, innovative technology, data-driven, property technology (PropTech), systematic review, bibliometric analysis, PRISMA, RStudio

Citation: Wang F. (2023) The present and future of the digital transformation of real estate: A systematic review of smart real estate. *Business Informatics*, vol. 17, no. 2, pp. 85–97. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.85.97

Introduction

Digital technologies are driving worldwide innovation and disruption across numerous industries. However, the real estate industry has been slow to embrace technology, and this trend may take some time to catch on [1]. The real estate industry is thought to be difficult to innovate in due to the presence of hard barriers in solidified processes and systems [2], and digital technologies also present disruption to the old way of doing business and necessitate significant changes by organizations to compete in the new environment [3]. Smartness is always an indicator for innovative digital technology, and the real estate industry is empowered with such smartness through the applications of several technologies, including virtual and augmented realities (VR and AR), big data, robotics, 3D scanning drones, clouds, software as a service (SaaS), wearable technologies [1], digital twin, and CyberGIS [4]. The real estate industry plays a pivotal role in economic development at both global and regional level; therefore, it is imminent to promote the digital transformation of the real estate industry and conform to the transformation of Industry 4.0 [5] and Marketing 4.0 [6].

The purpose of this study is to systematically review the extant literature on smart real estate associated with a bibliometric analysis, to investigate current theoretical developments in the literature, and to provide future guidance for both academic scholars and industry practitioners. In line with the purpose, this study develops a novel approach to the design science research methodology of business informatics by introducing the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis (PRISMA) [7].

This study is organized as follows: the first section introduces the research background and purpose of the study; followed by the materials and method section, which illustrates the PRISMA flowchart of identification and selection of scientific documents used for bibliometric analysis; the third section provides in-depth insights through the aspects of (i) the development trend of the research field; (ii) the performance of countries and institutions; (iii) trends in authorship and collaborations; and (iv) the analysis of keyword co-occurrences and thematic evolution. Finally, the conclusions and limitations of the study are shown.

1. Materials and method

A systematic review is a review that uses specific, systematic approaches to collect and synthesize the findings of studies that address a clearly defined research

purpose [8]. This study employed the PRISMA approach (hereafter referred to as the PRISMA 2020 statement), one of the most frequently consulted approaches for mixed quantitative and qualitative systematic reviews [7]. Unlike previous established design science research of purpose-oriented study, such as Archer's six-step design science research of programming, data collection and analysis, synthesis of objectives and analysis results, development, prototyping, and documentation [9, 10], the PRISMA approach contains a 27-item checklist with detailed explanations of each item considered essential for reporting in systematic reviews, which make such an approach distinctive and enable researchers to provide a transparent, complete, and accurate process while exploring the state of knowledge in a chosen research field and identifying future research priorities [7].

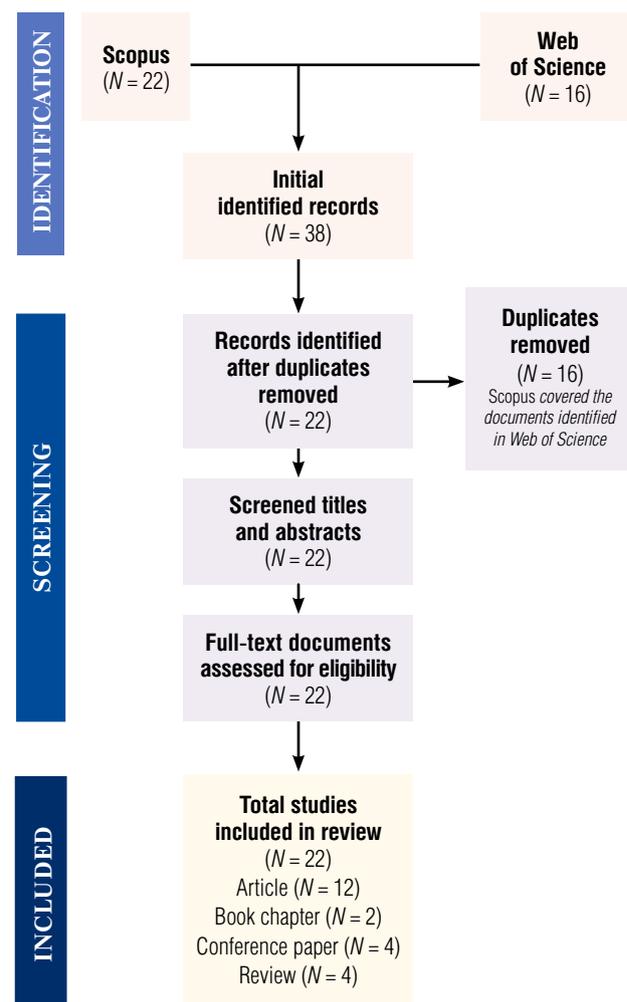


Fig. 1. PRISMA flowchart for scientific documents identification and selection.

On the first stage of scientific document identification, the two main scientific bibliographic databases [11], Web of Science (WoS) and Scopus, were selected for bibliographic data retrieval. The search query “smart real estate” was entered into the topic search in Web of Science and “TITLE-ABS-KEY” in Scopus. In order to ensure data synchronization, data retrieval was done for both databases on the same day, January 9, 2023. Differing from some similar systematic studies (e.g., [12]), the search was not limited by the Web of Sciences core bibliographic collections (e.g., the Social Sciences Citation Index (SSCI)) and no time constraints were set, which were operated similarly in Scopus, and the language of the documents was limited to English for both databases. A total of 38 initially identified scientific records of smart-real estate relevant studies were obtained, of which 22 were included in Scopus and 16 in the Web of Sciences. Both bibliographic metadata were imported into RStudio during the second stage of document screening in order to detect duplicate records and merge the two biblio-

metric datasets using the *bibliometrix* package in RStudio. *Bibliometrix* is the most widely used R package for bibliometric studies [13], which are increasingly referenced in scientific publications. Following the five-step bibliometric dataset merging with duplicates using the *bibliometrix* package (see *Table 1*), 16 duplicates were identified and found to be covered by the Scopus databases, after which 22 records of scientific documents were confirmed eligible for systematic analysis through the screening of titles and abstracts for each.

On the third stage, 22 scientific documents were included for further analysis in the systematic review, including 12 journal articles, 2 book chapters, 4 conference papers, and 4 reviews. Adhering to the purpose of this study, the comprehensive bibliometric analysis was performed in the Biblioshiny app of the *bibliometrix* package in RStudio, which provides a web interface for the *bibliometrix* package that is used to analyze the bibliographic data in a visualized graphical format and provide insights into the conceptual themes [11].

Table 1.

**Five-step bibliometric dataset merging
with duplicates using the R package “bibliometrix”**

Step 1: Download and install package “bibliometrix” in RStudio

```
>install.packages (“bibliometrix”)
```

Step 2: Run the “bibliometrix” and “xlsx” package in RStudio

```
>library (bibliometrix)
>library (xlsx)
```

Step 3: Import and convert bibliographic files

```
>wos_data <- convert2df (“wos.txt”, dbsource = “wos”, format = “plaintext”)
#Import and convert the Web of Science dataset “wos.txt” and name the converted dataset as “wos_data”
>scopus_data <- convert2df (“scopus.bib”, dbsource = “scopus”, format = “bibtex”)
#Import and convert Scopus dataset “scopus.bib” and name the converted dataset as “scopus_data”
```

Step 4: Merge the WoS and Scopus database and remove the duplicated data

```
>merged_data <-mergeDbSources (wos_data, scopus_data, remove.duplicated = T)
#Merge the converted datasets and name the merged dataset as “merged_data”
#Duplicates with a count of 16 are automatically removed from the merged dataset
```

Step 5: Export the merged database to “xlsx” file and write the file name as “merged database”

```
>write.xlsx (merged_data, “merged database.xlsx”)
#Export the “xlsx” file and name it “merged database.xlsx”
```

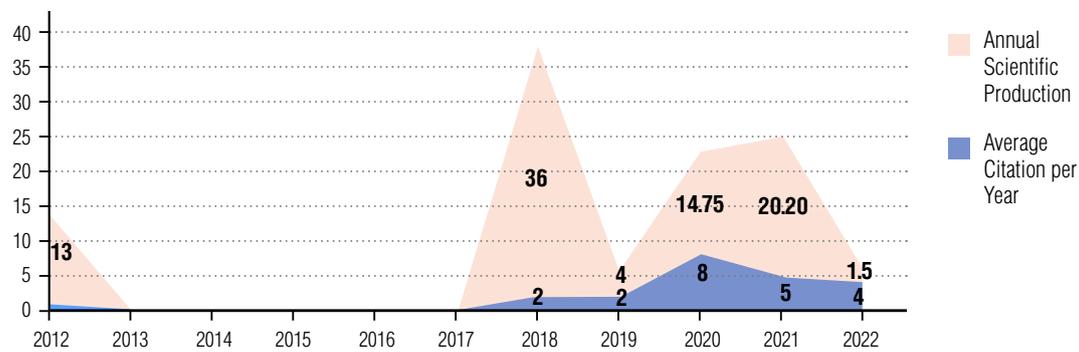


Fig. 2. Annual scientific production and average citations per year.

2. Results and discussion

2.1. Trend of development

Figure 2 shows the trend of research in the field of smart real estate. It is observed that the first research in this field appeared in 2012, followed by a gap in the five years from 2013 to 2017. Since 2018, the research in this field shows a gradual increase in the trend, reaching its peak in 2020, and a slow decrease from 2020 to 2022. Scientific documents published in 2018 received the most average citations per year (36), followed by documents published in 2020 and 2021, which received 14.75 and 20.2 average citations per year, respectively. As shown in Table 2, the bibliographic metadata consists of 22 scientific documents contributed by 50 researchers, with an average of 3.05 co-authors per document and an international co-authorship rate of 31.82%, including 12 journal articles, 2 book chapters, 4 conference papers, and 4 review articles. From 2012 to 2022, the annual growth rate was 14.87%, and the average number of citations per document reached 14.45 times.

2.2. Most contributing countries, institutions and authors

2.2.1. Most productive countries and institutions

A systematic review at the country or institutional level indicates the degree of internationalization of a specific research field [14]. A scientific publication from a country when at least one author is affiliated with an institution located in that country [15], and the individual collaboration in the research field adds up to an observable change in the structure of science [14].

A total of 14 countries have made their contributions in the research field of “smart real estate,” of which 6 countries have produced two or more scientific docu-

Table 2.

Descriptive bibliographic metadata

Description	Results
Main information	
Timespan	2012–2022
Documents (Articles, Reviews, etc.)	22
Annual Growth Rate %	14.87
Document Average Age	3.05
Average citations per doc	14.45
References	1590
Document types	
Article	12
Book chapter	2
Conference paper	4
Review	4
Document contents	
Keywords Plus (ID)	200
Author's Keywords (DE)	103
Authors	
Authors	50
Single-authored docs	5
Co-Authors per Doc	3.05
International co-authorships %	31.82

ments (Table 3). Among all the countries, Australia made the most significant contribution, cumulatively contributing nine documents; the total number of citations reached 283 times, and the average number of citations per document reached 31.44 times. Turkey came in second with four documents, 77 citations, and an average citation of 19.25 per document. In addition, the Netherlands and Malaysia produced 3 documents each, and Pakistan and the United Kingdom produced 2 documents each.

Table 3.

Most productive countries

Country	No. of Documents	Total citations	Average citations per doc
Australia	9	283	31.44
Turkey	4	77	19.25
Netherlands	3	17	5.67
Malaysia	3	16	5.33
Pakistan	2	14	7.00
United Kingdom	2	1	0.50

Note:

The documents identified and included may be co-authored by several scholars from different institutions located in different countries; therefore, the number of documents and total citations corresponding to each country are cumulative.

Table 4 shows the institutions that contributed more than two publications and the leading authors affiliated with those institutions. The 22 identified scientific documents were contributed by scholars from a total of 26 institutions. Among them, the University of New South Wales in Australia has contributed 8 journal articles, ranking first, co-authored by researchers such as Ullah, Sepasgozar, and Shirowzhan. The Near East University in Turkey ranked second and was led by Al-Turjman, who contributed three journal articles; it is worth noting that all three articles were co-authored with Ullah from the University of New South Wales in Australia. The University of Reading Malaysia ranked third, with two journal articles contributed by Lecomte in 2019 and 2020. In addition, Lecomte published one journal article with the University of Quebec in Montreal in Canada in 2022 in the research field of smart real estate [16].

Table 4.

Most productive institutions with leading authors

Institution	Country	N	Leading author(s)	Documents
University of New South Wales	Australia	8	Ullah, Sepasgozar, and Shirowzhan	[1,17–23]
Near East University	Turkey	3	Al-Turjman	[19, 21, 22]
University of Reading Malaysia	Malaysia	2	Lecomte	[24, 25]

Note:

N = number of documents; % = percentage of contributed scientific documents. "Leading authors" refer to authors who have authored (including co-authored) more than two documents with their corresponding affiliated institutions.

2.2.2. Trends in authorship and collaborations

Analysis of authorship and trends in collaboration provides deep insights into the structure and practice of a particular scholarly research field, and the intensity of collaboration between authors and the impact of collaboration on scientific citations vary widely at the international and domestic levels [14].

Research in the field of smart real estate shows a high intensity of author collaboration. As shown in Fig. 3, there are ten groups of collaborative networks, among which the collaborative network centered on Ullah and Sepasgozar has the highest collaboration density and the largest number of scientific publications (Table 3). Furthermore, as illustrated in Fig. 4, seven publications co-authored by Ullah and Sepasgozar (including the co-authorship with Low et al.) ranked among the top ten most cited in the research field; a journal article published in the journal Sustainability in 2018 was cited 66 times, ranking first. The remaining 9 groups of collaborative networks exhibited the characteristics of multiple authors cooperating on a single publication: collaborative networks such as Ahmed et al. [26], Allameh et al. [27], Kempeneer et al. [28], Azmi et al. [29], Sandeep Kumar and Talasila [30] each collaborated on one journal paper; collaborative networks such as Hapuarachchi et al. [31], Aydinoglu and Bovkir [32], Xu and Gade [33], and Su and Li [34] each produced one conference paper collaboratively.

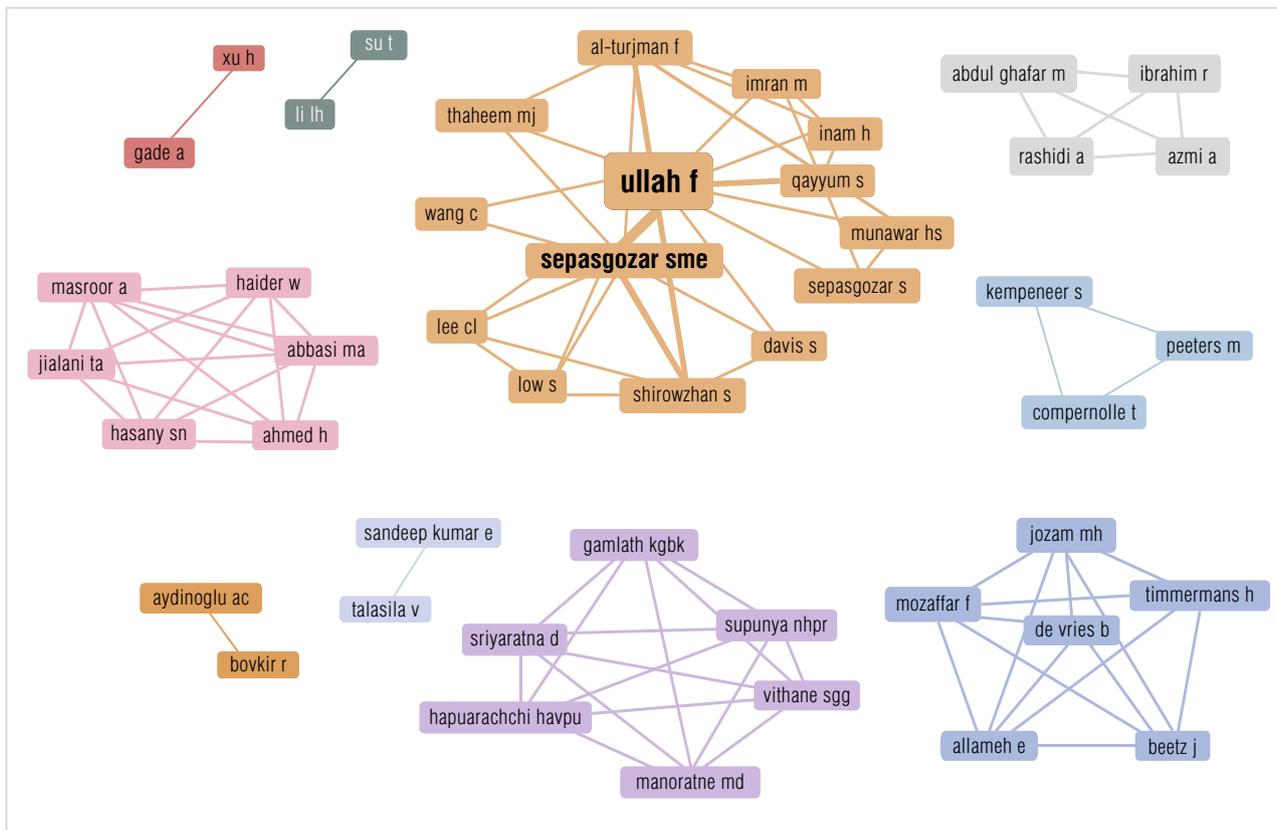


Fig. 3. Collaboration network of authors.

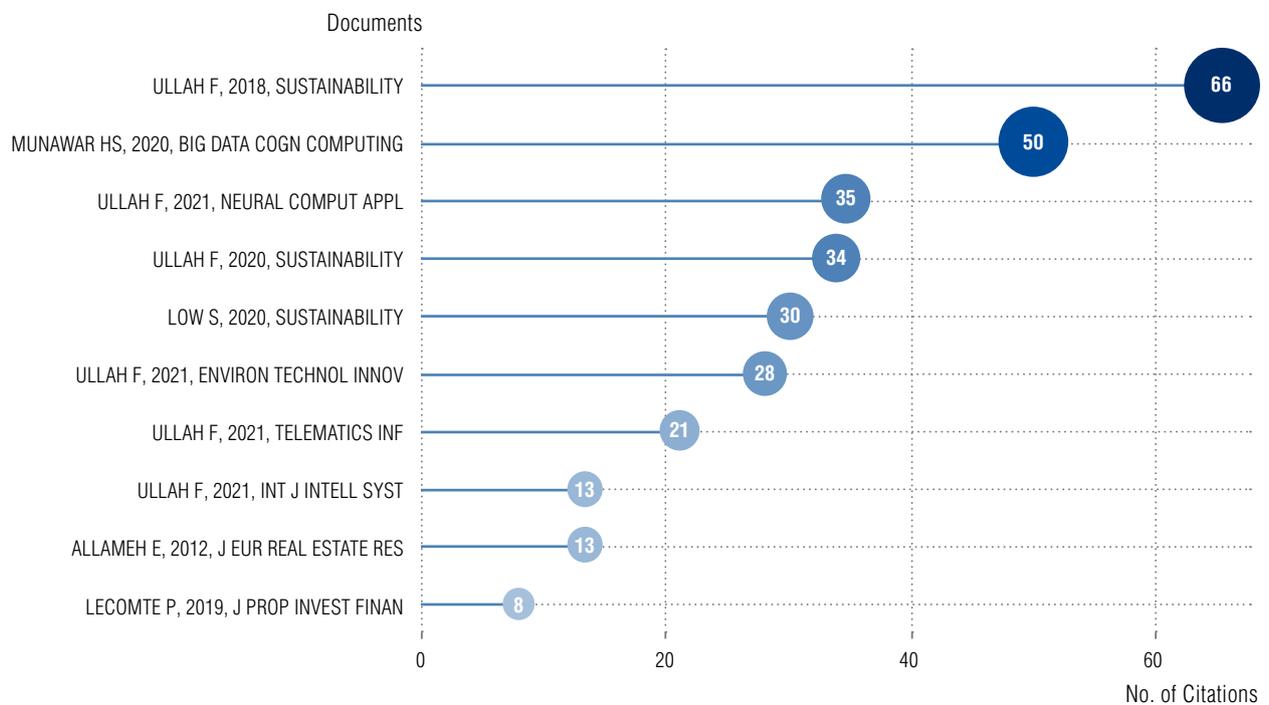


Fig. 4. Most cited documents in the research field of smart real estate.

2.3. Analysis of keyword co-occurrence and thematic evolution

When analyzing the knowledge of the research field, keyword analysis allows for more systematic insights into the current state and trends for future development. Keywords Plus, containing the author’s keywords and words or phrases automatically generated by the computer algorithms that appear frequently in the titles of an article’s references, are recommended for co-occurrence analysis of keywords and the evolution of the research themes [35]. In this section, the conceptual structure map using the multiple correspondence analysis method was employed to distinguish the present research themes by categorizing the selected keywords, whereas the thematic map was used to consult the comprehensiveness of each clustered theme by Keywords Plus, thus summarizing the evolution of themes by the degree of development and relevance of each theme cluster.

The bibliographic metadata contains 200 Keywords Plus spread across 22 scientific documents, 29 of which appeared more than twice and were chosen for keyword co-occurrence analysis and thematic evolution. As shown in Fig. 5, 29 keywords were categorized into four groups according to the conceptual structures, and the detailed categories of keywords and corresponding documents with the highest contribution are summarized in Table 5.

The four different types of themes are distributed in different quadrants according to their degree of development (density on the y-axis) and relevance (centrality on the x-axis): niche themes are located in the upper-left quadrant, motor themes are located in the upper-right quadrant, emerging or declining themes are located in the lower-left quadrant, and basic themes are located in the lower-right quadrant [36]. Shown in Fig. 6, we observe:

The cluster consisting of “deep learning,” “neural networks,” “smart cities,” and “taxation” is the only cluster located in the niche theme quadrant; according to [36], those topics are narrowly focused and peripheral in nature, with strong internal linkages but weak external ties, and thus have only a minimal impact on the research field.

The merging or declining themes are both weakly developed and peripheral, showing low density and low centrality. Three clusters are located in the quadrant of emerging or declining themes. These are: the cluster containing “sustainability,” “property market,” and “software,” and the cluster composed of “property,” “real estate industry,” “sales,” and the cluster composed of “real estate agents.” According to Table 5, the publications that contributed to those keywords were published between 2018 and 2022, resulting in the emerging themes. It is worth noting that the cluster composed of the single keyword “real estate agents” is less developed than the other two located in the same quadrant.

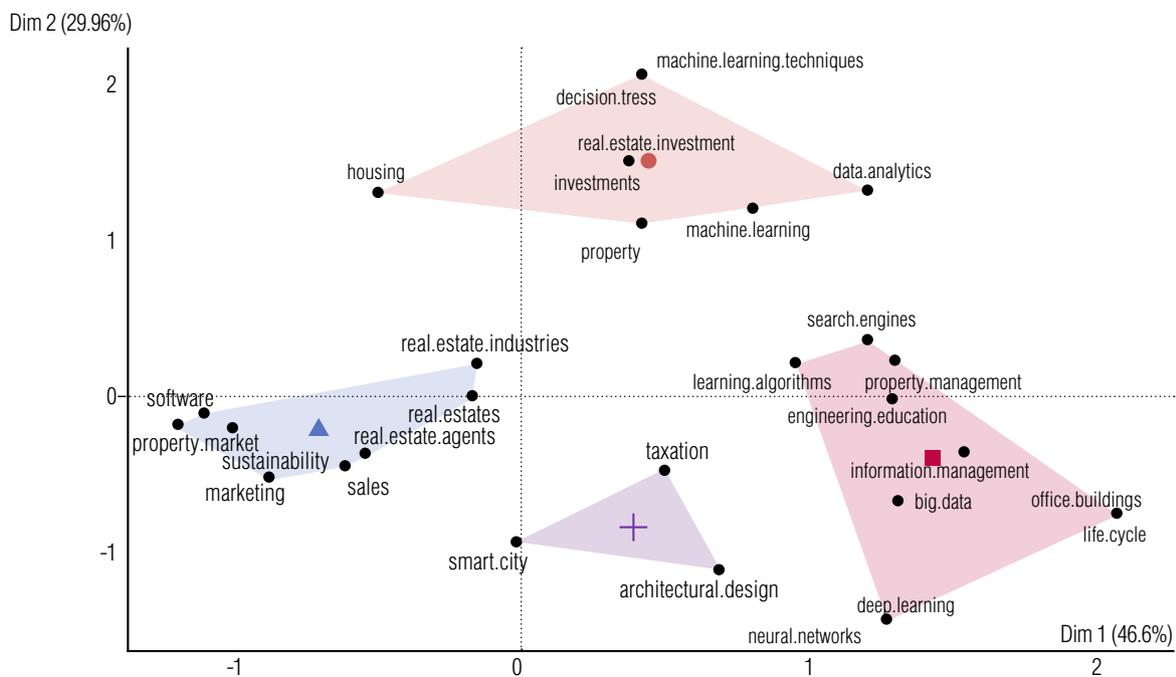


Fig. 5. Conceptual structure map using multiple correspondence analysis (MCA) method.

Table 5.

Categories of keywords and corresponding documents with the highest contribution

Keywords distribution per category	No. of keywords	Time of appearance	Most contributed documents
Category I			
machine learning techniques, decision trees, data analytics, machine learning, property, investments, real estate investment, housing	8	2020	[26, 30]
Category II			
real estate, real estate industries, real estate agents, sales, marketing, sustainability, property market, software	8	2018–2022	[1, 17, 20, 31]
Category III			
search engines, learning algorithms, property management, engineering education, information management, big data, office buildings, life cycle, deep learning, neural networks	10	2020	[18]
Category IV			
taxation, smart city, architectural design	3	2018–2019	[33, 34]

Note:

The most contributed documents were identified by the factorial analysis in the Biblioshiny app, which presents the most weighted documents in influencing the corresponding research category [11].

The motor themes exhibit high density and strong centrality; themes locate in this quadrant, suggesting that they are both well-developed and essential for structuring a study topic, as well as tied externally to theories that are relevant to other conceptually related themes [36]. The cluster composed of “machine learning,” “information management,” “data analytics,” “big data,” and “life cycle” possesses the highest devel-

opment degree and relevance degree. The cluster composed of “decision stress,” “housing,” “investments,” “machine learning,” “techniques” and “real estate investment” has a medium degree of relevance and a higher degree of development. Meanwhile, the cluster composed of “architectural design,” “marketing” and “real estate” has a higher degree of relevance and a medium degree of development.

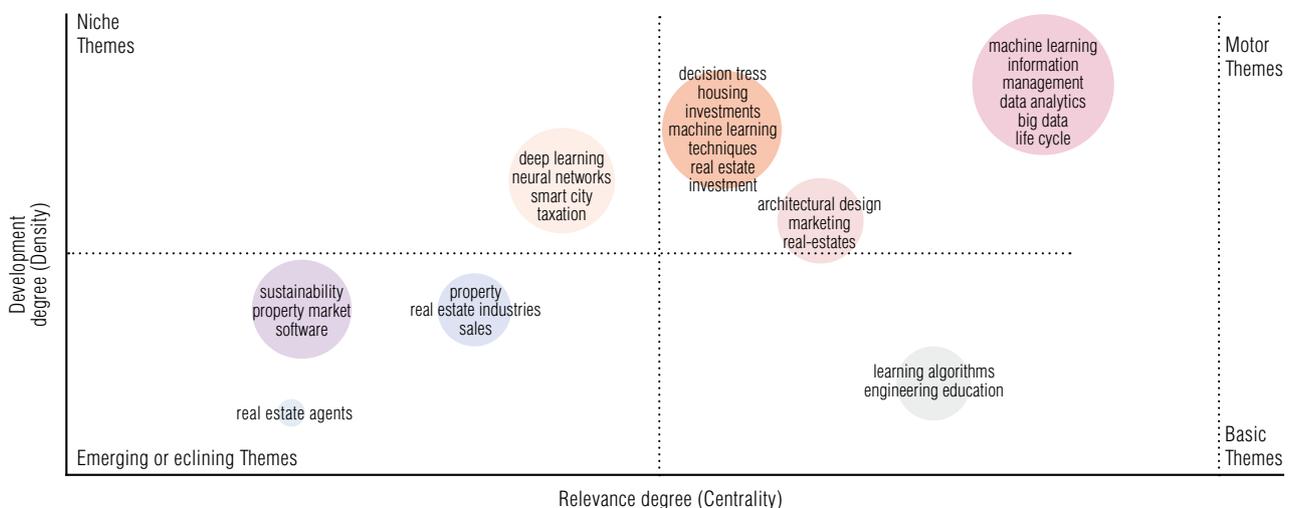


Fig. 6. Thematic map by Keywords Plus.

The keywords “learning algorithms” and “engineering education” formed the only cluster in the quadrant of basic themes, indicating their importance for the research field of smart real estate but not yet fully formed.

By comparing *Fig. 5* and *Fig. 6*, we found that most of the keywords in Categories I and III are either motor themes with a higher degree of development and relevance or basic themes with a higher degree of relevance but have not been explored in depth. Category III overlaps with all keywords of the three clusters located in the quadrant of emerging or declining themes; keywords of Category IV, “smart city” and “taxation,” are located in the niche themes quadrant, and “architectural design” is located in the motor themes quadrant.

Conclusion

Innovative technology is important and influential, and the development of technology has driven the transformation of the industry. As pointed out by [37], the driving force of transformation is strategy, not technology, and it applies to the real estate industry. This study provides a systematic review of the digital transformation of the real estate industry, focusing on the aspect of smart real estate. It provides a comprehensive understanding of current trends in theoretical development, taking “smart real estate” as a research field, and it guides academic scholars with future research directions and industry practitioners with strategy or policy-making. The key findings are summarized as follows:

- i. Research on smart real estate is a relatively new research field. The relevant literature first appeared in 2012 and has shown a rapid growth trend since 2018.
- ii. The University of New South Wales in Australia made the most contributions to this field of study, followed

by the Near East University in Turkey and the University of Reading in Malaysia. There appeared to be significant gaps in this research field in other developed regions such as the European Union as well as in emerging economies such as China and Russia.

- iii. Research in the field of smart real estate exhibits a strong co-authorship characteristic, with the most prominent contributions coming from a collaborative network of Ullah, Sepasgozar, and Shirowzhan et al., including the total number of publications and citations.
- iv. Through two different bibliometric mapping methods that categorized and clustered themes using the Keywords Plus, we found that keywords from two categories, such as “machine learning techniques,” “decision trees” and “data analytics” from Category I, and “information management,” “big data” and “life cycle” from Category III, have a higher degree of thematic development and relevance.

The study employing the bibliometric analysis method provides the most objective results for a systematic review, which avoids the bias of individual subjective factors. Nevertheless, there are two major limitations that need to be acknowledged. First, the digital transformation of real estate is a very broad concept and involves a number of related research fields such as smart city, property technology (ProTech), digital real estate, smart housing and smart homes, etc.; thus it is highly recommended for future researchers to compare and summarize all related research concepts or frameworks. Second, Scopus and Web of Science were limited as sources of scientific documents; other bibliographic databases, such as Google Scholar and ProQuest, should be researched in the future for the development of bibliometric studies. ■

References

1. Ullah F., Sepasgozar S.M.E., Wang C. (2018) A systematic review of smart real estate technology: Drivers of, and barriers to, the use of digital disruptive technologies and online platforms. *Sustainability*, vol. 10, no. 9, 3142, <https://doi.org/10.3390/su10093142>
2. Kassner A.J., Cajias M., Zhu B. (2022) The PropTech investors' dilemma – What are the key success factors that secure survival? *Journal of Property Investment & Finance*, vol. 41, no. 1, pp. 76–91. <https://doi.org/10.1108/JPIF-01-2022-0007>
3. Vassileva B. (2017) Marketing 4.0: How technologies transform marketing organization. *Óbuda University e-Bulletin*, vol. 7, no. 1, pp. 47–56.
4. Shirowzhan S., Tan W., Sepasgozar S.M. (2020) Digital twin and cyberGIS for improving connectivity and measuring the impact of infrastructure construction planning in smart cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 9, no. 4, 240. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040240>
5. Starr C.W., Saginor J., Worzala E. (2020) The rise of PropTech: Emerging industrial technologies and their impact on real estate. *Journal of Property Investment & Finance*, vol. 39, no. 2, pp. 157–169. <https://doi.org/10.1108/JPIF-08-2020-0090>
6. Dash G., Kiefer K., Paul J. (2021) Marketing-to-Millennials: Marketing 4.0, customer satisfaction and purchase intention. *Journal of Business Research*, vol. 122, pp. 608–620. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.016>
7. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M. et al. (2021) The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, vol. 372(n71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
8. Higgins J.P., Thomas J., Chandler J., Cumpston M., Li T., Page M.J., Welch V.A. (editors) (2019) *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. 2nd Edition. Chichester (UK): John Wiley & Sons.

9. Archer L.B. (1984) Systematic method for designers. *Developments in design methodology* (ed. N. Cross), pp. 57–82. New York: John Wiley & Sons.
10. Peffers K., Tuunanen T., Rothenberger M.A., et al. (2007) A design science research methodology for information systems research. *Journal of management information systems*, vol. 24(3), pp. 45–77.
11. Aria M., Cuccurullo C. (2017) Bibliometrix: An R-Tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, vol. 11, no. 4, pp. 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
12. Zhu J., Liu W. (2020) A tale of two databases: The use of Web of Science and Scopus in academic papers. *Scientometrics*, vol. 123, no. 1, pp. 321–335. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03387-8>
13. Linnenluecke M.K., Marrone M., Singh A.K. (2020) Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses. *Australian Journal of Management*, vol. 45, no. 2, pp. 175–194. <https://doi.org/10.1177/0312896219877678>
14. Demaine J. (2022) Fractionalization of research impact reveals global trends in university collaboration. *Scientometrics*, vol. 127, no. 5, pp. 2235–2247. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-04246-w>
15. Anand A., Kringelum L.B., Madsen C.Ø., Selivanovskikh L. (2021) Interorganizational learning: A bibliometric review and research agenda. *The Learning Organization*, vol. 28, no. 2, pp. 111–136. <https://doi.org/10.1108/TLO-02-2020-0023>
16. Lecomte P. (2022) On the economic nature of behavioural control in smart real estate. *Journal of General Management*. <https://doi.org/10.1177/03063070221131980>
17. Low S., Ullah F., Shirowzhan S., Sepasgozar S.M., Lin Lee C. (2020) Smart digital marketing capabilities for sustainable property development: A case of Malaysia. *Sustainability*, vol. 12, no. 13, 5402. <https://doi.org/10.3390/su12135402>
18. Munawar H.S., Qayyum S., Ullah F., Sepasgozar S. (2020) Big data and its applications in smart real estate and the disaster management life cycle: A systematic analysis. *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 4, no. 2, 4. <https://doi.org/10.3390/bdcc4020004>
19. Ullah F., Al-Turjman F. (2023) A conceptual framework for blockchain smart contract adoption to manage real estate deals in smart cities. *Neural Computing and Applications*, vol. 35, pp. 5033–5054. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-05800-6>
20. Ullah F., Sepasgozar S.M.E. (2020) Key factors influencing purchase or rent decisions in smart real estate investments: A system dynamics approach using online forum thread data. *Sustainability*, vol. 12, no. 11, 4382. <https://doi.org/10.3390/su12114382>
21. Ullah F., Al-Turjman F., Qayyum S., Inam H., Imran M. (2021) Advertising through UAVs: Optimized path system for delivering smart real-estate advertisement materials. *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 36, no. 7, pp. 3429–3463. <https://doi.org/10.1002/int.22422>
22. Ullah F., Sepasgozar S.M.E., Thaheem M.J., Al-Turjman F. (2021) Barriers to the digitalisation and innovation of Australian Smart Real Estate: A managerial perspective on the technology non-adoption. *Environmental Technology and Innovation*, vol. 22, article 101527. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101527>
23. Ullah F., Sepasgozar S.M.E., Shirowzhan S., Davis S. (2021) Modelling users' perception of the online real estate platforms in a digitally disruptive environment: An integrated KANO-SISQual approach. *Telematics and Informatics*, vol. 63, article 101660. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2021.101660>
24. Lecomte P. (2019) New boundaries: Conceptual framework for the analysis of commercial real estate in smart cities. *Journal of Property Investment and Finance*, vol. 37, no. 1, pp. 118–135. <https://doi.org/10.1108/JPIF-10-2018-0083>
25. Lecomte P. (2020) iSpace: principles for a phenomenology of space user in smart real estate. *Journal of Property Investment and Finance*, vol. 38, no. 4, pp. 271–290. <https://doi.org/10.1108/JPIF-07-2019-0091>
26. Ahmed H., Jilani T.A., Haider W., Hasany S.N., Abbasi M.A., Masroor A. (2020) Producing standard rules for smart real estate property buying decisions based on web scraping technology and machine learning techniques. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 11, no. 3, pp. 489–505. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0110363>
27. Allameh E., Jozam M.H., de Vries B., Timmermans H., Beetz J., Mozaffar F. (2012) The role of smart home in smart real estate. *Journal of European Real Estate Research*, vol. 5, no. 2, pp. 156–170. <https://doi.org/10.1108/17539261211250726>
28. Kempeneer S., Peeters M., Compennolle T. (2021) Bringing the user back in the building: An analysis of ESG in real estate and a behavioral framework to guide future research. *Sustainability*, vol. 13, no. 6, 3239. <https://doi.org/10.3390/su13063239>
29. Azmi A., Ibrahim R., Abdul Ghafar M., Rashidi A. (2022) Smarter real estate marketing using virtual reality to influence potential homebuyers' emotions and purchase intention. *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 11, no. 4, pp. 870–890. <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2021-0056>
30. Sandeep Kumar E., Talasila V. (2020) A combined data analytics and network science approach for smart real estate investment: Towards affordable housing. *Smart Governance for Cities: Perspectives and Experiences. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing* (ed. N. Lopes). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22070-9_8
31. Hapuarachchi H.A.V.P.U., Manoratne M.D., Gamlath K.G.B.K., Vithane S.G., Sriyaratna D., Supunya N.R. (2022) Realty scout – smart system for real estate analysis & forecasting with interactive user interface. Proceedings of the 2022 IEEE 7th International Conference for Convergence in Technology (I2CT 2022), Pune, India, 7–9 April 2022, pp. 56–61.
32. Aydinoglu A.C., Bovkir R. (2020) Developing a mobile application for smart real estate information. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLIV-4/W3-2020, pp. 89–94. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W3-2020-89-2020>
33. Xu H., Gade A. (2017) Smart real estate assessments using structured deep neural networks. Proceedings of the 2017 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation, San Francisco, CA, USA, 04–08 August 2017, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1109/UIC-ATC.2017.8397560>

34. Su T., Li L.H. (2019) BIM – Based machine learning engine for smart real estate appraisal. Proceedings of the *2nd International Conference on Sustainable Smart Manufacturing (S2M 2019)*, Manchester, United Kingdom, 9–11 April 2019, pp. 63–68.
35. Zhang J., Yu Q., Zheng F., Long C., Lu Z., Duan Z. (2016) Comparing keywords plus of WoS and author keywords: A case study of patient adherence research. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, vol. 67, no. 4, pp. 967–972. <https://doi.org/10.1002/asi.23437>
36. Cobo M.J., López-Herrera A.G., Herrera-Viedma E., Herrera F. (2011) An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the fuzzy sets theory field. *Journal of Informetrics*, vol. 5, no. 1, pp. 146–166. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002>
37. Kane G.C., Palmer D., Phillips A.N., Kiron D., Buckley N. (2015) *Strategy, not technology, drives digital transformation*. MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press.

About the author

Fengchen Wang

Graduate student, St. Petersburg School of Economics and Management, HSE University – Campus in St. Petersburg, 3A-1, Kantemirovskaya Street, St. Petersburg 194100, Russia;

E-mail: fwang@hse.ru

ORCID: 0000-0003-3103-5049

Настоящее и будущее цифровой трансформации индустрии недвижимости: Систематический обзор «умной» недвижимости

Ф. Ван

E-mail: fwang@hse.ru

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Адрес: Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 3, корп. 1, лит. А

Аннотация

Вклад индустрии недвижимости в глобальную и региональную экономику весьма значителен, однако в условиях современных развивающихся цифровых технологий и цифровой экономики цифровая трансформация индустрии недвижимости отстает от других отраслей. С одной стороны, это связано с устоявшимися процессами и системами, имеющими отношение к восходящей и нисходящей индустриям недвижимости, а с другой стороны – с тем, что цифровые технологии разрушают традиционные способы ведения бизнеса, подвергая отрасль влиянию факторов неопределенности. Цифровая трансформация индустрии недвижимости – это широкая и развивающаяся концепция. Различные смежные области исследований связаны с внедрением и применением различных инновационных технологий в промышленности. Данное исследование представляет собой систематический обзор, посвященный области интеллектуальной недвижимости, на основе библиометрического анализа с использованием PRISMA. Библиометрический анализ проведен в RStudio с использованием 22 научных документов, опубликованных с 2012 по 2022 годы и проиндексированных в Scopus и Web of Science. Полученные результаты позволили сделать следующие выводы. Во-первых, исследования в области «умной» недвижимости по-прежнему

являются новой, но быстро развивающейся областью. Во-вторых, лишь ограниченное число академических институтов из нескольких стран, таких как Университет Нового Южного Уэльса в Австралии, внесли значительный вклад в данную область знаний. В-третьих, исследование демонстрирует специфические характеристики сети сотрудничества, что приводит к высокой концентрации авторов и цитируемости. В-четвертых, исследовательские темы, связанные с обработкой данных, такие как «машинное обучение», «управление информацией», «аналитика данных» и «большие данные», демонстрируют высокую степень плотности исследований и их ведущую роль.

Ключевые слова: «умная» недвижимость, цифровая трансформация, цифровая экономика, инновационные технологии, обработка данных, технологии недвижимости (PropTech), систематический обзор, библиометрический анализ, PRISMA, RStudio

Цитирование: Wang F. The present and future of the digital transformation of real estate: A systematic review of smart real estate // *Business Informatics*. 2023. Vol. 17. No. 2. P. 85–97. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.85.97

Литература

1. Ullah F., Sepasgozar S.M.E., Wang C. A systematic review of smart real estate technology: Drivers of, and barriers to, the use of digital disruptive technologies and online platforms // *Sustainability*. 2018. Vol. 10. No. 9. Article 3142. <https://doi.org/10.3390/su10093142>
2. Kassner A.J., Cajias M., Zhu B. The PropTech investors' dilemma – What are the key success factors that secure survival? // *Journal of Property Investment & Finance*. 2022. Vol. 41. No. 1. P. 76–91. <https://doi.org/10.1108/JPIF-01-2022-0007>
3. Vassileva B. Marketing 4.0: How technologies transform marketing organization // *Óbuda University e-Bulletin*. 2017. Vol. 7. No. 1. P. 47–56.
4. Shirowzhan S., Tan W., Sepasgozar S.M. Digital twin and cyberGIS for improving connectivity and measuring the impact of infrastructure construction planning in smart cities // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020. Vol. 9. No. 4. Article 240. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040240>
5. Starr C.W., Saginor J., Worzala E. The rise of PropTech: Emerging industrial technologies and their impact on real estate // *Journal of Property Investment & Finance*. 2020. Vol. 39. No. 2. P. 157–169. <https://doi.org/10.1108/JPIF-08-2020-0090>
6. Dash G., Kiefer K., Paul J. Marketing-to-Millennials: Marketing 4.0, customer satisfaction and purchase intention // *Journal of Business Research*. 2021. Vol. 122. P. 608–620. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.016>
7. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M. et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews // *The BMJ*. 2021. Vol. 372(n71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
8. Higgins J.P., Thomas J., Chandler J., Cumpston M., Li T., Page M.J., Welch V.A. (editors) *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. 2nd Edition. Chichester (UK): John Wiley & Sons, 2019.
9. Archer L.B. Systematic method for designers // Cross, N. (Ed.) *Developments in design methodology*. New York: John Wiley & Sons, 1984. P. 57–82.
10. Peffers K., Tuunanen T., Rothenberger M.A., et al. A design science research methodology for information systems research // *Journal of management information systems*. 2007. Vol. 24(3). P. 45–77.
11. Aria M., Cuccurullo C. Bibliometrix: An R-Tool for comprehensive science mapping analysis // *Journal of Informetrics*. 2017. Vol. 11. No. 4. P. 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
12. Zhu J., Liu W. A tale of two databases: The use of Web of Science and Scopus in academic papers // *Scientometrics*. 2020. Vol. 123. No. 1. P. 321–335. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03387-8>
13. Linnenluecke M.K., Marrone M., Singh A.K. Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses // *Australian Journal of Management*. 2020. Vol. 45. No. 2. P. 175–194. <https://doi.org/10.1177/0312896219877678>
14. Demaine J. Fractionalization of research impact reveals global trends in university collaboration // *Scientometrics*. 2022. Vol. 127. No. 5. P. 2235–2247. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-04246-w>
15. Anand A., Kringelum L.B., Madsen C.Ø., Selivanovskikh L. Interorganizational learning: A bibliometric review and research agenda // *The Learning Organization*. 2021. Vol. 28. No. 2. P. 111–136. <https://doi.org/10.1108/TLO-02-2020-0023>
16. Lecomte P. On the economic nature of behavioural control in smart real estate // *Journal of General Management*. 2022. <https://doi.org/10.1177/03063070221131980>
17. Low S., Ullah F., Shirowzhan S., Sepasgozar S.M., Lin Lee C. Smart digital marketing capabilities for sustainable property development: A case of Malaysia // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. No. 13. Article 5402. <https://doi.org/10.3390/su12135402>
18. Munawar H.S., Qayyum S., Ullah F., Sepasgozar S. Big data and its applications in smart real estate and the disaster management life cycle: A systematic analysis // *Big Data and Cognitive Computing*. 2020. Vol. 4. No. 2. Article 4. <https://doi.org/10.3390/bdcc4020004>
19. Ullah F., Al-Turjman F. A conceptual framework for blockchain smart contract adoption to manage real estate deals in smart cities // *Neural Computing and Applications*. 2023. Vol. 35. P. 5033–5054. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-05800-6>

20. Ullah F., Sepasgozar S.M.E. Key factors influencing purchase or rent decisions in smart real estate investments: A system dynamics approach using online forum thread data // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. No. 11. Article 4382. <https://doi.org/10.3390/su12114382>
21. Ullah F., Al-Turjman F., Qayyum S., Inam H., Imran M. Advertising through UAVs: Optimized path system for delivering smart real-estate advertisement materials // *International Journal of Intelligent Systems*. 2021. Vol. 36. No. 7. P. 3429–3463. <https://doi.org/10.1002/int.22422>
22. Ullah F., Sepasgozar S.M.E., Thaheem M.J., Al-Turjman F. Barriers to the digitalisation and innovation of Australian Smart Real Estate: A managerial perspective on the technology non-adoption // *Environmental Technology and Innovation*. 2021. Vol. 22. Article 101527. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101527>
23. Ullah F., Sepasgozar S.M.E., Shirowzhan S., Davis S. Modelling users' perception of the online real estate platforms in a digitally disruptive environment: An integrated KANO-SISQual approach // *Telematics and Informatics*. 2021. Vol. 63. Article 101660. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2021.101660>
24. Lecomte P. New boundaries: Conceptual framework for the analysis of commercial real estate in smart cities // *Journal of Property Investment and Finance*. 2019. Vol. 37. No. 1. P. 118–135. <https://doi.org/10.1108/JPIF-10-2018-0083>
25. Lecomte P. iSpace: principles for a phenomenology of space user in smart real estate // *Journal of Property Investment and Finance*. 2020. Vol. 38. No. 4. P. 271–290. <https://doi.org/10.1108/JPIF-07-2019-0091>
26. Ahmed H., Jilani T.A., Haider W., Hasany S.N., Abbasi M.A., Masroor A. Producing standard rules for smart real estate property buying decisions based on web scraping technology and machine learning techniques // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2020. Vol. 11. No. 3. P. 489–505. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0110363>
27. Allameh E., Jozam M.H., de Vries B., Timmermans H., Beetz J., Mozaffar F. The role of smart home in smart real estate // *Journal of European Real Estate Research*. 2012. Vol. 5. No. 2. P. 156–170. <https://doi.org/10.1108/17539261211250726>
28. Kempeneer S., Peeters M., Compernelle T. Bringing the user back in the building: An analysis of ESG in real estate and a behavioral framework to guide future research // *Sustainability*. 2021. Vol. 13. No. 6. Article 3239. <https://doi.org/10.3390/su13063239>
29. Azmi A., Ibrahim R., Abdul Ghafar M., Rashidi A. Smarter real estate marketing using virtual reality to influence potential homebuyers' emotions and purchase intention // *Smart and Sustainable Built Environment*. 2022. Vol. 11. No. 4. P. 870–890. <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2021-0056>
30. Sandeep Kumar E., Talasila V. A combined data analytics and network science approach for smart real estate investment: Towards affordable housing // *Smart Governance for Cities: Perspectives and Experiences*. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing (ed. N. Lopes). Springer, Cham, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22070-9_8
31. Hapuarachchi H.A.V.P.U., Manoratne M.D., Gamlath K.G.B.K., Vithane S.G., Sriyaratna D., Supunya N.R. Realty scout – smart system for real estate analysis & forecasting with interactive user interface // *Proceedings of the 2022 IEEE 7th International Conference for Convergence in Technology (I2CT 2022)*, Pune, India, 7–9 April 2022. P. 56–61.
32. Aydinoglu A.C., Bovkir R. Developing a mobile application for smart real estate information // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020. Vol. XLIV-4/W3-2020. P. 89–94. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W3-2020-89-2020>
33. Xu H., Gade A. Smart real estate assessments using structured deep neural networks // *Proceedings of the 2017 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computed, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation*, San Francisco, CA, USA, 04–08 August 2017. P. 1–7. <https://doi.org/10.1109/UIC-ATC.2017.8397560>
34. Su T., Li L.H. BIM — Based machine learning engine for smart real estate appraisal // *Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Smart Manufacturing (S2M 2019)*, Manchester, United Kingdom, 9–11 April 2019. P. 63–68.
35. Zhang J., Yu Q., Zheng F., Long C., Lu Z., Duan Z. Comparing keywords plus of WoS and author keywords: A case study of patient adherence research // *Journal of the Association for Information Science and Technology*. 2016. Vol. 67. No. 4. P. 967–972. <https://doi.org/10.1002/asi.23437>
36. Cobo M.J., López-Herrera A.G., Herrera-Viedma E., Herrera F. An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the fuzzy sets theory field // *Journal of Informetrics*. 2011. Vol. 5. No. 1. P. 146–166. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002>
37. Kane G.C., Palmer D., Phillips A.N., Kiron D., Buckley N. Strategy, not technology, drives digital transformation. MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press, 2015.

Об авторе

Ван Фэнчэн

аспирант, департамент менеджмента, Санкт-Петербургская школа экономики и менеджмента, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 194100, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 3, к. 1, лит. А;

E-mail: fwang@hse.ru

ORCID: 0000-0003-3103-5049