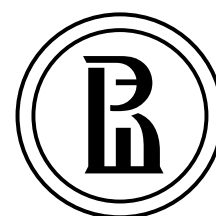


БИЗНЕС- ИНФОРМАТИКА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ НИУ ВШЭ



Издатель:

Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

Подписной индекс
в каталоге агентства
«Роспечать» – 72315

Выпускается ежеквартально

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

Главный редактор
Е.А. Кучерявый

Заместитель главного редактора
Е.П. Зараменских

Компьютерная верстка
О.А. Богданович

Администратор веб-сайта
И.И. Хрусталева

Адрес редакции:

119049, г. Москва,
ул. Шаболовка, д. 28/11, стр. 4
Тел./факс: +7 (495) 772-9590 *26311
<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 – 200 экз.,
англоязычная версия – 200 экз.,
онлайн-версия на русском и английском –
свободный доступ

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

© Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

СОДЕРЖАНИЕ

Математические методы и алгоритмы бизнес-информатики

А.Н. Кисляков

Структурирование затрат на рекламную
кампанию с учетом асимметрии интереса
пользователей 7

Р.С. Рогулин

Модель оптимизации плана закупок сырья
из регионов России лесоперерабатывающим
комплексом 19

Моделирование и анализ бизнес-процессов

А.И. Долженко, И.Ю. Шполянская, С.А. Глушенко

Нечеткая продукционная сеть для анализа
качества микросервисной архитектуры 36

Моделирование социальных и экономических систем

Д.М. Назаров

Классификация моделей и описание трендов
в вопросах оценки каузальности связей
в социально-экономических процессах 47

Е.А. Голованова, А.В. Зубарев

Построение индикатора неопределенности
по отношению к корректировке
денежно-кредитной политики Банка России
на основе новостных источников 62

А.А. Афанасьев, О.С. Пономарева

Производственная функция народного хозяйства
с учетом транспортно-коммуникационной
инфраструктуры и распространения уханьского
коронавируса в России 76

«**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.

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:

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

В соответствии с решением президиума Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации журнал включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. 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) по следующим научным специальностям и соответствующим отраслям науки: 05.13.10 — Управление в социальных и экономических системах (технические науки); 05.13.11 — Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки); 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки); 05.25.05 — Информационные системы и процессы (технические науки); 08.00.05 — Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности) (экономические науки); 08.00.13 — Математические и инструментальные методы экономики (экономические науки).

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

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

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

Главный редактор: Кучерявый Евгений Андреевич.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Кучерявый Евгений Андреевич

Технологический университет Тампере, Тампере, Финляндия

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Зараменских Евгений Петрович

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

Абдульраб Абиб

Национальный институт прикладных наук, Руан, Франция

Авдошин Сергей Михайлович

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

Акопов Андраник Сумбатович

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

Алескерев Фуад Тагиевич

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

Афанасьев Александр Петрович

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

Афанасьев Антон Александрович

Центральный экономико-математический институт РАН,
Москва, Россия

Бабкин Эдуард Александрович

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

Баландин Сергей Игоревич

Ассоциация FRUCT, Хельсинки, Финляндия

Баранов Александр Павлович

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

Барахнин Владимир Борисович

Федеральный исследовательский центр информационных
и вычислительных технологий, Новосибирск, Россия

Беккер Йорг

Университет Мюнстера, Мюнстер, Германия

Белов Владимир Викторович

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Рязань, Россия

Вестнер Маркус

Регенсбургский университет прикладных наук,
Регенсбург, Германия

Гаврилова Татьяна Альбертовна

Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

Глотен Эрве

Тулонский университет, Ла-Гард, Франция

Голосов Алексей Олегович

Компания «ФОРС — Центр разработки», Москва, Россия

Грибов Андрей Юрьевич

Компания «КиберПлат», Москва, Россия

Громов Александр Игоревич

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

Гурвич Владимир Александрович

Раттерский университет (Университет Нью-Джерси),
Раттерс, США

Демидова Лилия Анатольевна

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Рязань, Россия

Джейкобс Лоренц

Университет Цюриха, Цюрих, Швейцария

Дискин Иосиф Евгеньевич

Всероссийский центр изучения общественного мнения,
Москва, Россия

Ефимушкин Владимир Александрович

Центральный научно-исследовательский институт связи,
Москва, Россия

Зандкуль Курт

Университет Росток, Росток, Германия

Иванников Александр Дмитриевич

Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН,
Москва, Россия

Ильин Николай Иванович

Федеральная служба охраны Российской Федерации, Москва, Россия

Исаев Дмитрий Валентинович

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

Калягин Валерий Александрович

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

Кравченко Татьяна Константиновна

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

Кузнецов Сергей Олегович

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

Лугачев Михаил Иванович

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Лин Квей-Жей

Технологический институт Нагоя, 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

Моттль Вадим Вячеславович

Тульский государственный университет, Тула, Россия

Назаров Дмитрий Михайлович

Уральский государственный экономический университет,
Екатеринбург, Россия

Пальчунов Дмитрий Евгеньевич

Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Пардалос Панайот (Панос)

Университет Флориды, Гейнсвилл, США

Пастор Оскар

Политехнический университет Валенсии, Валенсия, Испания

Посегга Йохим

Университет Пассау, Пассау, Германия

Самуйлов Константин Евгеньевич

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Сюняев Али Рашидович

Технологический институт Карлсруэ, Карлсруэ, Германия

Таратухин Виктор Владимирович

Университет Мюнстера, Мюнстер, Германия

Триболе Жозе

Университет Лиссабона, Лиссабон, Португалия

Ульянов Михаил Васильевич

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

Ускенбаева Раиса Кабиевна

Международный университет информационных технологий,
Алматы, Казахстан

Цуканова Ольга Анатольевна

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

Чхартишвили Александр Гедеванович

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

Шмидт Юрий Давыдович

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Штраус Кристина

Университет Вены, Вена, Австрия

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

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

BUSINESS INFORMATICS

HSE SCIENTIFIC JOURNAL

CONTENTS

Mathematical methods and algorithms of business informatics

A.N. Kislyakov

Structuring advertising campaign costs considering
the asymmetry of users' interests 7

R.S. Rogulin

A model for optimizing plans for procurement
of raw materials from regions of Russia
in a timber-processing enterprise..... 19

Business processes modeling and analysis

A.I. Doljenko, I.Yu. Shpolianskaya, S.A. Glushenko

Fuzzy production network model for quality assessment
of an information system based on microservices..... 36

Modeling of social and economic systems

D.M. Nazarov

Classification of models and description of trends
in assessing the causality of relationships
in socio-economic processes 47

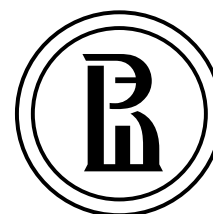
E.A. Golovanova, A.V. Zubarev

Building the uncertainty indicator regarding adjustment
of the Bank of Russia's monetary policy
relying on news sources 62

A.A. Afanasiev, O.S. Ponomareva

Wuhan coronavirus spread in Russia:
macroeconomic production function in regard
to transport and communication infrastructure..... 76

Vol. 14 No 4 – 2020



Publisher:
National Research University
Higher School of Economics

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

The journal is published quarterly

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

Editor-in-Chief:
Y. Koucheryavy

Deputy Editor-in-Chief
E. Zaramenskikh

Computer Making-up:
O. Bogdanovich

Website Administration:
I. Khrustaleva

Address:
28/11, build. 4, Shablovka Street
Moscow 119049, Russia

Tel./fax: +7 (495) 772-9590 *26311
<http://bijournal.hse.ru>
E-mail: bijournal@hse.ru

Circulation:
English version – 200 copies,
Russian version – 200 copies,
online versions in English and Russian –
open access

Printed in HSE Printing House
3, Kochnovsky Proezd, 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 published quarterly.

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

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

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

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

The journal is included into Web of Science Emerging Sources Citation Index (WoS ESCI) and Russian Science Citation Index on the Web of Science platform (RSCI).

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

Editor-in-Chief: Dr. Yevgeni A. Koucheryavy.

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF

Yevgeni A. Koucheryav

Tampere University of Technology, Tampere, Finland

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Evgeny P. Zaramenskikh

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

EDITORIAL BOARD

Habib Abdulrab

National Institute of Applied Sciences, Rouen, France

Sergey M. Avdoshin

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Andranik S. Akopov

National Research University Higher School of Economics, 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

Eduard A. Babkin

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

Sergey I. Balandin

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

Vladimir B. Barakhnin

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

Alexander P. Baranov

Federal Tax Service, Moscow, Russia

Jorg Becker

University of Munster, Munster, Germany

Vladimir V. Belov

Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russia

Alexander G. Chkhartishvili

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

Vladimir A. Efimushkin

Central Research Institute of Communications, Moscow, Russia

Tatiana A. Gavrilova

Saint-Petersburg University, St. Petersburg, Russia

Hervé Glotin

University of Toulon, La Garde, France

Alexey O. Golosov

FORS Development Center, Moscow, Russia

Andrey Yu. Gribov

CyberPlat Company, Moscow, Russia

Alexander I. Gromoff

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Vladimir A. Gurvich

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

Laurence Jacobs

University of Zurich, Zurich, Switzerland

Liliya A. Demidova

Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russia

Iosif E. Diskin

Russian Public Opinion Research Center, Moscow, Russia

Nikolay I. Ilyin

Federal Security Guard of the Russian Federation, 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

Vadim V. Mottl

Tula State University, Tula, 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

Yuriy D. Shmidt

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Christine Strauss

University of Vienna, Vienna, Austria

Ali R. Sunyaev

Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany

Victor V. Taratukhin

University of Munster, Munster, Germany

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

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

Markus Westner

Regensburg University of Applied Sciences, Regensburg, Germany

Структурирование затрат на рекламную кампанию с учетом асимметрии интереса пользователей

А.Н. Кисляков 

E-mail: ankislyakov@mail.ru

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации. Владимирский филиал

Адрес: 600017, г. Владимир, ул. Горького, д. 59а

Аннотация

Работа посвящена актуальной проблеме структурирования затрат на контекстную и таргетированную рекламу в сети интернет. Выбор структуры финансирования рекламной кампании рассматривается с позиции нарушения принципа симметрии интереса пользователей к рекламным объявлениям. Целью работы является разработка методики структурирования затрат на рекламную кампанию на основе кластерного анализа с учетом асимметрии интереса пользователей к рекламе. Ключевой особенностью проводимого исследования является описание возможности использования асимметрии интереса пользователей в прикладных решениях, таких как интернет-реклама. В качестве показателя, характеризующего степень дисбаланса проявления какого-либо признака, при кластеризации используется коэффициент Джини. Также рассматриваются особенности применения коэффициента подъема и кривой Лоренца для оценки эффективности контекстной и таргетированной рекламы для различных групп клиентов. Использование индекса Джини и кластерного анализа позволяет проанализировать возможности повышения дохода от рекламы и сравнить его с показателями, достигаемыми при отсутствии какой-либо политики структурирования рекламных затрат. Выявление подобных закономерностей в группах потребителей позволяет наметить основные направления развития продукта и интерес покупателей к нему. Описанную методику следует применять в целях повышения эффективности использования баннерной рекламы и алгоритмов кластеризации. Указанный подход не позволяет улучшить показатель кликабельности баннеров, но позволяет реализовать индивидуальный подход к рекламе продуктов с текущим количеством кликов, а также более эффективно структурировать затраты на различные виды рекламы.

Ключевые слова: информационная асимметрия; индекс Джини; кластерный анализ; баннерная реклама; иерархическая кластеризация.

Цитирование: Кисляков А.Н. Структурирование затрат на рекламную кампанию с учетом асимметрии интереса пользователей // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 4. С. 7–18. DOI: [10.17323/2587-814X.2020.4.7.18](https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.4.7.18)

Введение

На сегодняшний день одним из наиболее динамично развивающихся сегментов рекламной деятельности является реклама в сети интернет. Например, баннерная реклама позволяет более точно и эффективно донести рекламное объявление до заинтересованного клиента. При этом существует достаточно много вариантов монетизации показа рекламных объявлений в зависимости от назначения и возможностей.

Такой вид рекламы, разумеется, требует определенных вложений, которые не всегда бывают оправданы, поскольку распространение информации и технологии подачи рекламных объявлений, а также их стоимость зависят от большого количества факторов и носят сложный случайный характер [1]. Зачастую трудно понять, какая именно категория пользователей окажется заинтересована в рекламном объявлении, еще труднее спрогнозировать рост продаж в зависимости от вложений в рекламу.

В этой связи существует два принципиально разных вида рекламы: контекстная и таргетированная. Контекстная реклама позволяет выполнять автоматизированный показ рекламного объявления в соответствии с предметной областью поиска клиентом товаров. Таргетированная реклама, напротив, выполняет поиск аудитории под предложение по признакам, что является более сложной задачей. Несмотря на то, что и тот и другой вид рекламы имеет тонкие настройки показа, эффективность контекстной рекламы зачастую оказывается выше, ввиду работы с заинтересованной аудиторией.

Однако компании также заинтересованы в расширении своей целевой аудитории. Поэтому возникает задача определения структуры финансирования рекламной кампании по видам в зависимости от видов бизнеса и особенностей поведенческой активности клиентов, как заинтересованных, так и потенциальных.

Зачастую целесообразно использовать оба вида рекламы, вместо того, чтобы отдавать предпочтение одному виду рекламы за счет другого. Поэтому цель исследования — разработка методики структурирования затрат на рекламную кампанию, учитывающей нарушение принципа симметрии интереса пользователей к рекламе.

Выбор структуры финансирования рекламной кампании не столь очевиден, как может показаться на первый взгляд. Он обусловлен явлением информационной асимметрии [2, 3] на рынке онлайн-про-

даж товаров и услуг. В этом случае продавцы ведут бизнес, не владея полной информацией о конкурентной среде, а также намерениях покупателей [1, 4]. В свою очередь, покупатели формируют свое мнение о товаре или услуге на основе различного набора факторов и источников, постоянно прислушиваются к мнению сетевых сообществ, читая статьи, отзывы в сети интернет, следуя за лидерами мнений и т.п. Таким образом, взаимодействие между рекламодателем и пользователем продукта усложняется с учетом информационной асимметрии рынка. В качестве основной гипотезы принимается связь явления рыночной асимметрии с дисбалансом в поведенческой активности групп клиентов [5, 6].

Существуют различные методики структурирования и планирования затрат на рекламную кампанию с учетом предпочтений целевой аудитории [7]. При этом используются различные офлайн- и онлайн-инструменты, например, анкетирование покупателей, либо выбор одного из видов рекламы (контекстной или таргетированной) в зависимости от цели организации (вывод на рынок нового продукта, наращивание целевой аудитории и т.д.). С одной стороны, эти подходы позволяют значительно упростить процесс планирования, но с другой стороны не позволяют гибко настраивать и эффективно управлять рекламной кампанией. Предлагаемый подход является одной из модификаций алгоритма структурирования затрат на рекламную кампанию на основе оценки экономического эффекта кликабельности и использования методов классификации [8]. В частности, предлагается использование методов кластерного анализа для создания более адекватной модели структурирования затрат на рекламу.

1. Предлагаемый подход к структурированию затрат на рекламу

Механизм контекстной рекламы представляет собой автоматизированную сделку по реализации рекламы, а полезность показа рекламного баннера измеряется с помощью показателя кликабельности CTR (Click Through Rate) [1, 9]:

$$CTR = \frac{\text{количество кликов}}{\text{количество показов}} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Когда компания знает о предпочтениях части своих клиентов, она может обратиться к одному из провайдеров объявлений, который реализует механизм контекстной рекламы для соответствующих пользователей. Такие объявления менее эффективны при

поиске и расширении целевой аудитории, поскольку показываются только тем клиентам, которые уже заинтересованы в покупке данного товара.

В случае таргетированной рекламы владельцы баннеров получают оплату по количеству кликов и по показам, когда пользователь видит баннер, но не нажимает на него. Способ монетизации баннеров заключается в их продаже на аукционе объявлений, где рекламодатели делают ставки на эти баннеры при различном количестве участников аукциона и условиях размещения. Таргетированная реклама позволяет привлечь больше целевой аудитории, однако является менее точным, хотя и более дешевым инструментом интернет-маркетолога.

Если бюджет рекламной кампании ограничен, то эти средства могут быть распределены между поставщиками рекламы, к примеру, следующим образом: 30% средств – провайдеру контекстной рекламы, а 70% – поставщикам таргетированной рекламы. В итоге компании необходима модель, которая позволит установить пропорции финансирования указанных видов рекламы в соответствии с интересами пользователей.

Эффективность проведения рекламной политики с учетом построенной модели может быть оценена с помощью коэффициента подъема [9]:

$$lift = \frac{P(A \cap B)}{P(A) \cdot P(B)}, \quad (2)$$

где $P(A)$ и $P(B)$ – вероятности интереса к контекстной и таргетированной рекламе соответственно;

совместная вероятность $P(A \cap B)$ – вероятность интереса обоим видам рекламных объявлений со стороны пользователей.

Коэффициент подъема является показателем эффективности таргетированной рекламы и используется при прогнозировании или классификации групп пользователей [10], проявляющих повышенный интерес к рекламе. Модель хорошо работает, если реакция в рамках целевого сегмента аудитории намного лучше, чем в среднем для общего количества пользователей, которым была показана реклама.

Отметим, что если учитывать только 30% возможного распределения для контекстной рекламы, то это означает, что нас интересуют только клиенты децилей 1, 2 и 3. Однако может сложиться ситуация, когда значение CTR выше среднего также и для дециля 4 (рисунк 1). Данный подход основан на классификации пользователей и аналогичен идее ABC-анализа [11].



Рис. 1. Вероятность клика для каждого дециля клиентов

Один из подходов к расчету коэффициента подъема заключается в разделении пользователей на квантили и ранжировании квантилей по степени подъема. Далее необходимо рассмотреть каждый квантиль и, взвесив прогнозируемую вероятность отклика (и связанную с ней финансовую выгоду) по отношению к затратам на рекламу, принять решение о финансировании рекламной кампании. Описание данного принципа на одном из примеров показано на рисунке 2. Кривая, обозначенная как «случайная модель», характеризует ситуацию абсолютно равномерного распределения интереса к рекламе у всех пользователей. Эта кривая называется кривой абсолютной симметрии и означает отсутствие экономического эффекта от рекламы, поскольку пользователи проявляют интерес к рекламным объявлениям в случайном порядке, вне зависимости от действий продавца, что в реальных условиях практически недостижимо [12, 13]. В этой связи существует возможность оценить экономический эффект, который получен от пользователей, проявивших интерес к рекламе. Кривые, обозначенные на рисунке 2 как «идеальная модель» и «нормальная модель», характеризуют эффективность рекламы для различных сегментов пользователей. Такая модель может рассматриваться как разновидность кривой рабочей характеристики приемника (ROC) [14, 15], которая также известна под названием кривой Лоренца [5, 14].

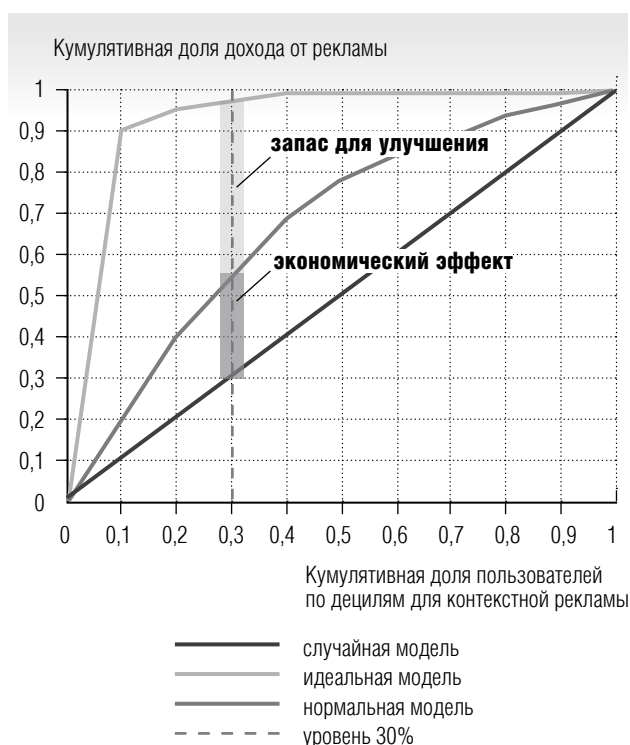


Рис. 2. Оптимизации затрат на контекстную рекламу

Кривая Лоренца для идеальной модели характеризует случай, когда реклама эффективна строго для одного небольшого сегмента пользователей, на которых приходится около 90% прибыли от рекламных объявлений, а остальные пользователи, которым была показана реклама, не проявляют к ней интереса. В этом случае затраты на контекстную рекламу могут быть структурированы в меньшей пропорции в целях поиска новых заинтересованных клиентов с помощью таргетированной рекламы.

Если максимальный экономический эффект по сравнению со случайной моделью достигается на четвертом дециле, то максимум заинтересованных пользователей составляет около 40% от их общего количества. Это случай характеризует нормальную модель, которая наиболее часто встречается на практике. Таким образом, поиск максимального экономического эффекта для различного количества заинтересованных пользователей позволяет предвительно структурировать затраты на рекламу.

2. Методика исследования

Разделение пользователей на децили целесообразно выполнять тогда, когда отсутствует дополнительная информация о пользователях, не позво-

ляющая выявить закономерности в их поведении. Следует отметить, что в случае контекстной рекламы маркетологи обладают достаточно обширным массивом сведений, характеризующих поведенческую активность пользователей продукта. Поэтому второй подход к расчету коэффициента подъема состоит в использовании кластерного анализа [16, 17] для построения кривой Лоренца. Для того чтобы оценить однородность интереса пользователей к рекламному объявлению, а также сопоставить объявления с их интересами, необходимо перейти к кластерному анализу реакции пользователей на рекламные объявления [18].

Существующие подходы [19] используют в качестве показателя асимметрии дисперсию различий между тестовой и обучающей выборками относительно среднего уровня. Однако методы кластерного анализа, являясь методами машинного обучения без учителя, требуют использования иных показателей нарушения симметрии классов, которые используются в настоящей работе.

Разработанная методика включает в себя следующие этапы:

Этап 1. Для оценки качества кластеризации покупателей необходимо оценить количество кластеров (групп разбиения), а также однородность кластеров с точки зрения количества входящих в них клиентов.

Следует отметить, что количество групп разбиения клиентов заранее неизвестно, поэтому использовать кластеризацию на основе метода k -средних не представляется возможным. Кластеризация с использованием алгоритмов на основе деревьев решений требует тестовой обучающей выборки. Однако в случае рекламной кампании эта выборка может динамически изменяться. Поэтому в качестве наиболее подходящего метода в работе используются иерархические методы кластеризации [17], не требующие обучающей выборки и позволяющие осуществлять разбиение клиентов на группы по признакам.

Иерархические методы разбиения на кластеры позволяют выбрать один из двух вариантов объединения:

1) Агломеративная кластеризация начинается с n кластеров, где n — число наблюдений (предполагается, что каждое из них представляет собой отдельный кластер). Затем алгоритм пытается найти и сгруппировать наиболее схожие между собой точки данных;

2) Дивизионная кластеризация выполняется противоположным образом: изначально полагается, что все n точек данных представляют собой один большой кластер, после чего наименее схожие из них разделяются на отдельные группы.

При этом агломеративная кластеризация лучше подходит для выявления небольших кластеров, а применение дивизионной кластеризации целесообразно для выявления крупных кластеров. Поскольку предполагаемые признаки клиентов описываются категориальными переменными, в качестве метрики разделения кластеров используется расстояние Гоуэра [18].

Этап 2. На этом этапе необходимо построить кривую Лоренца для оценки дисбаланса интереса пользователей к рекламным объявлениям. В качестве показателя, характеризующего степень дисбаланса проявления какого-либо признака, часто используется коэффициент Джини [20, 21]. На *рисунке 3* представлен пример, показывающий зависимость доли точек в i -м кластере (от общего количества точек в выборке) от кумулятивной доли количества кластеров.

Например, для четырех кластеров доля первого кластера будет составлять 0,25 (25%). Этот кластер будет содержать в себе 25 точек из 100, поэтому на графике будет отображаться точка (0,25; 0,25). Если все кластеры имеют одинаковое количество точек, то наблюдается абсолютная симметрия в группах разбиения и коэффициент Джини равен нулю. Соответственно,



Рис. 3. Интерпретация коэффициента Джини в задачах кластеризации

дисбаланс описывается площадью ограниченной ломанной кривой Лоренца и кривой абсолютной симметрии и рассчитывается по формуле:

$$G = 1 - \sum_{k=1}^n (X_k - X_{k-1}) \cdot (Y_k + Y_{k-1}), G \in [0; 1], \quad (3)$$

где n — количество кластеров;

X_k — кумулятивная доля количества кластеров;

Y_k — кумулятивная доля количества точек в кластере.

Чем больше значение коэффициента Джини отклоняется от нуля, тем в большей степени проявляется асимметрия в характеристиках кластеров [21–23]. Расчет коэффициента Джини дает возможность найти наилучшее соответствие между вариантами кластеризации продуктов и покупателей, что способствует повышению клиентоориентированности продуктов и повышению эффективности рекламы. В итоге необходим переход от методов классификации пользователей к их кластеризации, что одновременно позволит выполнить более точные настройки как контекстной, так и таргетированной рекламы. Однако для этого сначала необходимо оценить качество разбиения групп на кластеры с помощью коэффициента Джини.

На *рисунке 4* представлен пример, в котором рассматривается сравнение нескольких кривых Лоренца для четырех, пяти и десяти кластеров. Показано, что в данном случае при пяти кластерах не только наблюдается наилучшее качество разбиения пользователей на группы, но и имеется возможность сделать вывод о том, что пользователи первого кластера обеспечивают максимальный прирост прибыли от рекламы.

Этап 3. На завершающем этапе необходимо определить, при каком значении кумулятивной доли кластеров наблюдается максимальный коэффициент подъема, что позволяет сделать вывод о выделении той части пользователей, для которых более эффективна контекстная реклама, в соответствии с чем устанавливается доля контекстной рекламы в общем объеме затрат.

3. Пример применения предлагаемого подхода

С помощью индекса Джини и кластерного подхода можно рассчитать, насколько возможно улучшить доход от рекламы в одних и тех же условиях с помощью использования описанной в работе методики и



Рис. 4. Пример структурирования затрат на рекламу на основе кластерного анализа

сравнить его с результатами, получаемыми при отсутствии какой-либо политики структурирования рекламных затрат. Следует отметить, что указанная методика не позволяет улучшить *CTR* в целом, но позволяет оптимизировать затраты на рекламу продукта с текущим количеством кликов и покупок.

Рассмотрим на конкретном примере, как работает данный подход к оценке эффективности рекламы. В первую очередь, были смоделированы исходные данные средствами языка *R* с помощью пакетных функций *dunif* и *dbinom*. Моделирование выполнялось на основе различных функций распределения, характеризующих появление того или иного признака. Синтезированная тестовая выборка состояла из 10 тыс. точек, каждая из которых описывает действие пользователя в соответствии со следующими признаками:

- ♦ уникальный идентификатор действия, тип «string» — последовательная нумерация;
- ♦ дата и время, тип «object» — дискретное равномерное распределение в пределах от начальной до конечной даты;
- ♦ операционная система пользователя, тип «string» — дискретное равномерное распределение по четырем типам операционных систем;
- ♦ браузер пользователя, тип «string» — дискретное

равномерное распределение по шести наименованиям браузеров;

- ♦ страна, тип «string» — дискретное равномерное распределение по девяти странам;

- ♦ тип реферальной ссылки, тип «string» — дискретное равномерное распределение по пяти типам ссылок, соответствующих различным частям сайта, где размещаются баннеры;

- ♦ название баннера, тип «string» — дискретное равномерное распределение;

- ♦ действие (заинтересованность или отсутствие интереса), тип «binary int» — биномиальное распределение с вероятностью покупки 0,05;

- ♦ покупка (покупка или отсутствие покупки), тип «binary int» — биномиальное распределение с вероятностью покупки 0,02.

В качестве одного из упрощений принимается, что кумулятивный доход от покупки измеряется в относительных единицах — вероятностях совершения покупки одной единицы одинаковых товаров.

Следующим шагом является выбор пользователей, которые отреагировали на рекламные объявления. Таких в данном случае оказалось 453 человека (*CTR* = 4,53%), из которых совершили покупки 50 человек. Затем необходимо оценить однородность по кластерам заинтересованных клиентов, совершивших покупки.

На следующем шаге необходимо выполнить кластеризацию клиентов иерархическими методами [22], с помощью двух алгоритмов: на основе дивизионной и агломеративной кластеризации.

Показатели суммы квадратов расстояний между точками внутри кластера и средней ширины силуэта [24, 25] позволяют оценить качество кластеризации. Для суммы квадратов расстояний используется метод «локтя» [22, 26] для определения оптимального количества кластеров, а локальный максимум значения ширины силуэта позволяет выбрать количество кластеров с наилучшим разделением. Таким образом, оптимальное количество групп разбиения — кластеров равно пяти для агломеративного, и восьми — для дивизионного алгоритма кластеризации (рисунок 5). Кроме того, можно оценить внутрикластерное разнообразие действий пользователей относительно покупок. Для этого необходимо сравнить, как могут быть структурированы затраты на рекламу с учетом коэффициента Джини. Показатели, характеризующие кластерное разнообразие для разбиения на 5 и 8 кластеров, приведены в таблице 1.

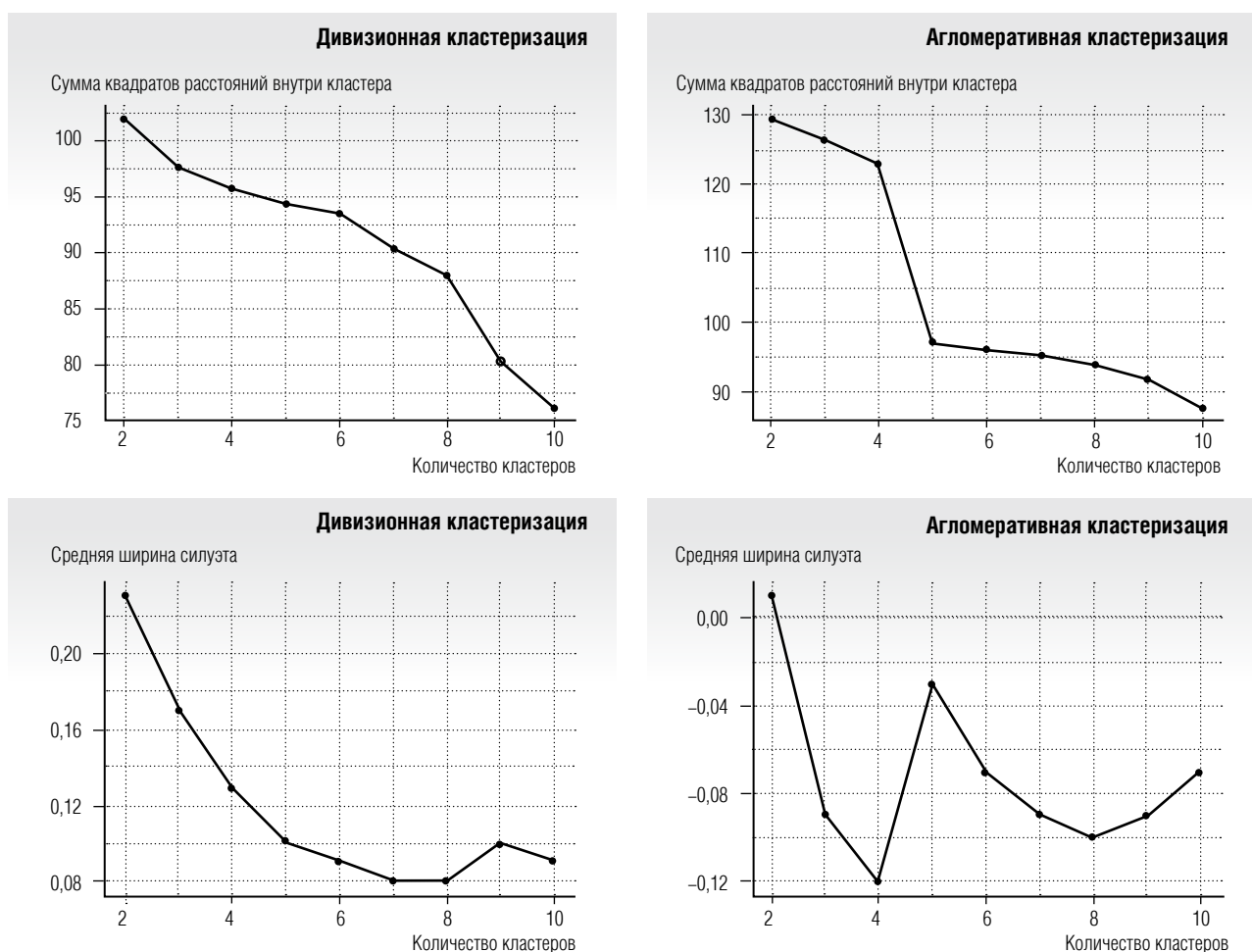


Рис. 5. Показатели оценки качества кластеризации

Таблица 1.

Результаты иерархической кластеризации заинтересованных пользователей

№ кластера	1	2	3	4	5	6	7	8
Дивизионная кластеризация								
Процент от общего количества заинтересованных клиентов	0,071	0,717	0,082	0,029	0,040	0,035	0,015	0,011
Вероятность покупки	0,04	0,9	0,04	0	0,02	0	0	0
Процент от общего количества заинтересованных клиентов	0,071	0,717	0,168	0,029	0,015	—	—	—
Вероятность покупки	0,04	0,82	0,1	0	0,04	—	—	—
Агломеративная кластеризация								
Процент от общего количества заинтересованных клиентов	0,2649	0,6225	0,0442	0,0265	0,0155	0,0110	0,0110	0,0044
Вероятность покупки	0,1	0,86	0,02	0	0	0,02	0	0
Процент от общего количества заинтересованных клиентов	0,265	0,660	0,044	0,026	0,004	—	—	—
Вероятность покупки	0,16	0,76	0,04	0,04	0	—	—	—

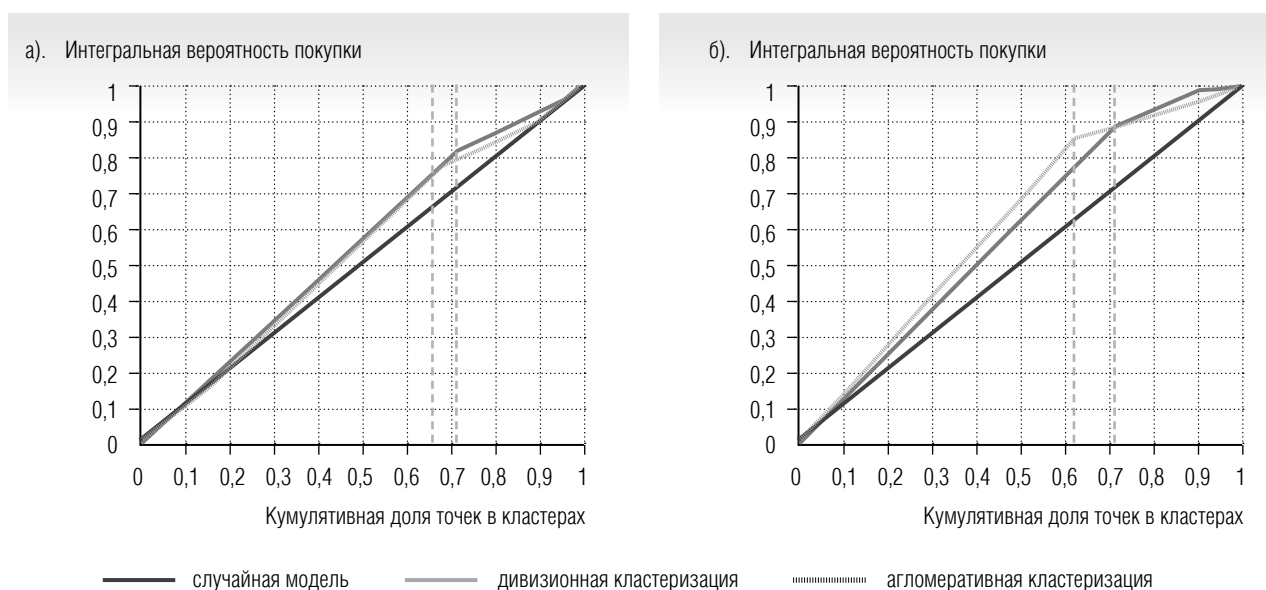


Рис. 6. Пример структурирования затрат на рекламу на основе иерархической кластеризации для пяти (а) и восьми (б) кластеров

Пороговое значение доли покупателей (рисунок б), характеризующее максимальный экономический эффект (коэффициент подъема) от рекламы, для пяти кластеров варьируются от 0,66 до 0,71 для алгоритмов агломеративной и дивизионной кластеризации соответственно. Это означает, что для оптимального структурирования затрат на рекламу следует учесть, что большинство пользователей (около 80%), относящихся к кластеру 2 (таблица 1), не имеют четких намерений и признаков действий, связанных с покупкой товара, т.е. купили его вероятнее всего спонтанно [2, 27], осуществляя поиск по потребностям. Поэтому в данном примере около 70% затрат на рекламу целесообразно отдать контекстной рекламе, которая позволит точно воздействовать лишь на заинтересованных пользователей, в то время как остальные 30% следует отдать таргетированной рекламе для привлечения новых клиентов.

Однако в случае пяти кластеров площадь под кривой существенно меньше, чем в случае восьми кластеров, когда имеется более детальное разбиение. Следует учесть, что большую площадь дает алгоритм агломеративной кластеризации, показывающий в этом случае наилучшие результаты, несмотря на увеличение количества кластеров. Пороговые значения доли покупателей для обоих алгоритмов практически не изменились, что говорит

о сбалансированности и достоверности полученных результатов. Однако само значение коэффициента подъема значительно выросло и по нему можно судить о том, что максимальный экономический эффект от рекламы достигается при финансировании контекстной рекламы в объеме 62% от общих затрат. При этом уточняются признаки пользователей, которые, вероятнее всего, купят товар, а вероятность покупки увеличивается с 82% до 90%.

4. Обсуждение предлагаемого подхода

Для того, чтобы оценить возможности предлагаемого подхода рассмотрим диаграмму, на которой показаны результаты структурирования затрат на рекламную кампанию на основе ранжирования клиентов по децилям (рисунок 7).

Из рисунка 7 видно, что структура затрат на контекстную и таргетированную рекламу путем ранжирования по децилям заметно отличаются от кластерного подхода. В случае ранжирования клиентов по децилям получен максимальный коэффициент подъема для 20% клиентов, что говорит о финансировании контекстной рекламы в объеме лишь 20% от общего количества затрат. Несмотря на то, что данный график более близок к идеаль-



Рис. 7. Результаты структурирования затрат на рекламную кампанию путем ранжирования по децилям

ному случаю, данная модель имеет минимальный запас для улучшения. Кроме того, невозможно провести корректное сравнение полученных кривых Лоренца для кумулятивной доли точек по децилям и кумулятивной доли кластеров, поскольку в первом случае проводилось ранжирование, а во втором — признаковая кластеризация. По этой же причине нельзя сравнивать полученные на рисунках 6 и 7 площади под кривыми Лоренца. Однако по коэффициенту подъема и в том, и в другом случае можно судить о пропорциях затрат на рекламу. Заметные отличия объясняются тем, что в случае ранжирования по децилям учитываются лишь факты совершения сделки, но такой подход не учитывает признаки клиентов. Основным преимуществом предлагаемой методики является возможность более гибко настраивать структуру затрат на рекламу в зависимости от признаков поведенческой активности клиентов. Кластерный подход позволяет построить более адекватную модель и более точно настроить контекстную рекламу.

Заключение

Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Для расширения возможностей подходов к структурированию затрат на баннерную рекламу

необходимо использовать алгоритмы кластеризации на основе категориальных признаков действий пользователей.

2. Методы иерархической кластеризации хорошо подходят для оценки необходимого количества кластеров, а также дают возможность выявить скрытые закономерности в поведенческой активности клиентов.

3. Коэффициент Джини дает возможность оценить качество кластеризации и определить группы пользователей, дающие максимальное значение вероятности покупки.

4. Использование кластерного подхода позволяет не только структурировать затраты на рекламу, но и определить, какой тип рекламы следует применять по отношению к каким пользователям. Это дает более широкие возможности для оптимизации затрат и повышения эффективности рекламной кампании.

Выявление скрытых закономерностей в группах потребителей позволяет выявить основные направления развития продукта и интерес покупателей к нему, а также оценить устойчивость рынка продуктов с аналогичными характеристиками и стабильность его развития.

Полученные результаты раскрывают прикладные возможности использования принципа нарушения симметрии в бизнес-задачах, и, в отличие от существующих работ [6, 27], отражают возможности структурирования затрат на рекламную кампанию. Данный подход позволяет не только выявить популярность продуктов по признакам, но и определить наиболее эффективные способы привлечения клиентов для того или иного вида продукции. Это достигается путем сопоставления результатов поведенческой активности клиентов относительно совершения целевых действий, а также признаков товаров, относительно которых они совершили эти действия. Также одним из преимуществ является возможность использования неопределенности Джини и коэффициента подъема в качестве индикаторов групп пользователей, для которых более эффективна контекстная или таргетированная реклама. ■

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 18.07.00170.

Литература

1. Кисляков А.Н. Оценка эффективности рекламной кампании в социальных сетях с использованием методов имитационного моделирования // Экономика и управление: проблемы, решения. 2019. Т. 5. № 3 (87). С. 20–26.
2. Рау В.Г., Кисляков А.Н., Тихонюк Н.Е., Рау Т.Ф. Принцип нарушения асимметрии в моделях развития экономических систем: опыт и проблемы // Региональная экономика: опыт и проблемы. Материалы XI международной научно-практической конференции (Гутманские чтения) 15 мая 2018 года / под общ. ред. А.И. Новикова и А.Е. Илларионова. Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС, 2018. С. 201–211.
3. Некоторые особенности применения групп нарушенной симметрии для «визуализации» процессов в природных, «живых» и социально-экономических системах / В.Г. Рау и [др.] // Региональная экономика: опыт и проблемы. Материалы XII международной научно-практической конференции (Гутманские чтения) 15 мая 2019 года / под общ. ред. А.И. Новикова и А.Е. Илларионова. Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС, 2019. С. 111–119.
4. Кисляков А.Н. Тихонюк Н.Е. Модель ценообразования однородного рынка с учетом асимметричности информации // Инновационное развитие экономики. 2019. № 1. С. 93–100.
5. Перский Ю.К., Дмитриев Д.В. Формирование информационно-экономического механизма управления уровнем асимметрии информации на региональном отраслевом рынке // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2009. № 29 (162). С. 66–74.
6. Кисляков А.Н. Асимметрия информации в задачах анализа социально-экономических процессов // Вестник НГУЭУ. 2020. № 1. С. 64–75. DOI: 10.34020/2073-6495-2020-1-064-075.
7. Барановская Т.П., Иванова Е.А., Хачак Ф.Р. Автоматизированная подсистема планирования бюджета рекламной кампании // Научный журнал КубГАУ. 2016. № 120. С. 223–238.
8. Barnès M. Calculate the economic impact of your click-through prediction. [Электронный ресурс]: <https://towardsdatascience.com/calculate-the-economic-impact-of-your-click-through-prediction-1fa6ee64494> (дата обращения: 25.04.2020).
9. Галямов А.Ф., Тархов С.В. Управление взаимодействием с клиентами коммерческой организации на основе методов сегментации и кластеризации клиентской базы // Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18. № 4 (65). С. 149–156.
10. Андреева А.В. Оптимальное управление клиентской базой компании на основе показателя долгосрочной стоимости клиента // Бизнес-информатика. 2012. № 4 (22) С. 61–68.
11. Цой М.Е., Залешин П.А. Сегментация потребителей на основе изучения стилей покупательского поведения // Российское предпринимательство. 2017. Т. 18. № 21. С. 3313–3326. DOI: 10.18334/rp.18.21.38543.
12. Mishra B.K., Hazra D., Tarannum K., Kumar M. Business Intelligence using Data Mining techniques and Business Analytics // 5th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART 2016), 25–27 November 2016, Moradabad, India. P. 84–89. DOI: 10.1109/SYSMART.2016.7894496.
13. James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. An introduction to statistical learning with applications in R. New York: Springer, 2013.
14. Nielsen F. Introduction to HPC with MPI for data science. Springer, 2016.
15. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction. Second Edition. Springer, 2017.
16. Kassambara A. Practical guide to cluster analysis in R: Unsupervised machine learning. Multivariate analysis I. STHDA, 2017.
17. Tripathi S., Bhardwaj A., E P. Approaches to clustering in customer segmentation // International Journal of Engineering & Technology. 2018. Vol. 7. No 3.12. P. 802–807. DOI: 10.14419/ijet.v7i12.16505.
18. Gower J.C. A general coefficient of similarity and some of its properties // Biometrics. 1971. Vol. 27. No 4. P. 857–871.
19. Кисляков А.Н. Показатели асимметрии в задачах изучения поведенческой активности пользователей продукта // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2020. № 3 (123). С. 110–116.
20. Frunza M.-Ch. Computing a standard error for the Gini coefficient: An application to credit model validation // Journal of Risk Model Validation. 2013. Vol. 7. No. 1. P. 61–82. DOI: 10.21314/JRMV.2013.099
21. Зорина А.А. Формирование флуктуирующей асимметрии в процессе индивидуального развития *Betula pendula* // Принципы экологии. 2014. № 4 (12). С. 27–46.
22. Murtagh F., Contreras P. Methods of hierarchical clustering // ArXiv. 2011. [Электронный ресурс]: <https://arxiv.org/pdf/1105.0121.pdf> (дата обращения: 30.03.2020).
23. Королев О.Л., Кусый М.Ю., Сигал А.В. Применение энтропии при моделировании процессов принятия решений в экономике / Под. ред. А.В. Сигала. Симферополь: ОДЖАКЪ, 2013.
24. Печеный Е.А., Нуриев Н.К., Старыгина С.Д. Динамическая кластеризация потока больших данных // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов международной научной конференции: в 12 т. Т. 3 / Под общ. ред. А.А. Большакова. СПб.: Изд. Политехнического университета, 2019. С. 19–21.
25. Prokofyeva E.S., Zaytsev R.D. Clinical pathways analysis of patients in medical institutions based on hard and fuzzy clustering methods // Business Informatics. 2020. Vol. 14. No 1. P. 19–31. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.1.19.31.
26. Методы сравнительной оценки результатов кластерного анализа структуры гидробиоценозов (на примере зоопланктона реки Линда Нижегородской области) / В.Н. Якимов и [др.] // Биология внутренних вод. 2016. № 2. С. 94–103. DOI: 10.7868/S0320965216020169.
27. Баранов С.Г., Бурдакова Н.Е. Оценка стабильности развития: Методические подходы Владимир: Изд. ВлГУ, 2015.

Об авторе

Кисляков Алексей Николаевич

кандидат технических наук;

доцент кафедры информационных технологий, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Владимирский филиал, 600017, г. Владимир, ул. Горького, д. 59а;

E-mail: ankislyakov@mail.ru

ORCID: 0000-0001-8790-6961

Structuring advertising campaign costs considering the asymmetry of users' interests

Alexey N. Kislyakov

E-mail: ankislyakov@mail.ru

Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation. Vladimir Branch

Address: 59a, Gorky Street, Vladimir 600017, Russia

Abstract

This work is devoted to the highly topical problem of structuring costs for contextual and targeted advertising on the Internet. The choice of the ad campaign financing structure is considered from the point of view of violating the principle of symmetry of user interest in ads. The purpose of this work is to develop a methodology for structuring advertising campaign costs based on cluster analysis, taking into account the asymmetry of user interest in advertising. The key feature of the research is the description of the possibility of using the asymmetry of user interest in application solutions, such as online advertising. The Gini coefficient is used as an indicator of the degree of imbalance in the manifestation of a feature in clustering, and the features of using the lift coefficient and the Lorentz curve to evaluate the effectiveness of contextual and targeted advertising for various groups of customers are also considered. Using the Gini index and cluster analysis, you can analyze the possibilities of increasing ad revenue and compare it with the absence of any policy for structuring advertising costs. Identifying such patterns in consumer groups allows you to identify the main directions of product development and customer interest in it. The method described here should be used to improve the effectiveness of banner advertising and clustering algorithms. This approach does not improve banner clickability, but allows you to implement an individual approach to advertising products with the current number of clicks and more effectively structure the cost of various types of advertising.

Key words: information asymmetry; Gini index; cluster analysis; banner advertising; hierarchical clustering.

Citation: Kislyakov A.N. (2020) Structuring advertising campaign costs considering the asymmetry of users' interests. *Business Informatics*, vol. 14, no 4, pp. 7–18. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.7.18

References

1. Kislyakov A.N. (2019) Evaluation of the effectiveness of advertising campaigns in social networks using simulation methods. *Economics and Management: Problems, Solutions*, vol. 5, no 3, pp. 20–26 (in Russian).
2. Rau V.G., Kislyakov A.N., Tikhonyuk N.E. Rau T.F. (2018) The problem of asymmetry in the models of economic systems development. *Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference "Regional Economy: Experience and Challenges", 15 May 2018*. Eds. A.I. Novikov, A.E. Illarionov. Vladimir: RANEPa, Vladimir Branch, pp. 201–211 (in Russian).

3. Rau V.G., Polyakov S.V., Rau T.F., Firsov I.V., Togunov I.A. (2019) Some features of application of broken symmetry groups for “visualization” of processes in natural, “living” and socio-economic systems. Proceedings of the *XI International Scientific and Practical Conference “Regional Economy: Experience and Challenges”*, 15 May 2018. Eds. A.I. Novikov, A.E. Illarionov). Vladimir: RANEP, Vladimir Branch, pp. 111–119 (in Russian).
4. Kislyakov A.N., Tikhonyuk N.E. (2019) Model of price formation of a homogeneous market taking into account the asymmetry of information. *Innovative Development of Economy*, no 1, pp. 93–100 (in Russian).
5. Perskii Yu.K., Dmitriev D.V. (2009) Formation of the information-economic mechanism of information asymmetry level management at the regional branch market. *Bulletin of SUSU. Series: Economics and Management*, no 29, pp. 66–74 (in Russian).
6. Kislyakov A.N. (2020) Asymmetry of information in the analysis of socio-economic processes. *Vestnik NSUEM*, no 1. pp. 64–75 (in Russian). DOI: 10.34020/2073-6495-2020-1-064-075.
7. Baranovskaya T.P., Ivanova E.A., Khachak F.R. (2016) The automated subsystem for advertising budget planning. *Scientific Journal of KubSAU*, no 120, pp. 223–238 (in Russian).
8. Barnés M. (2020) Calculate the economic impact of your click-through prediction. Available at: <https://towardsdatascience.com/calculate-the-economic-impact-of-your-click-through-prediction-1fa6eee64494> (accessed 25 April 2020).
9. Galyamov A.F., Tarkhov S.V. (2014) Customer relationship management of a commercial organization based on methods of segmentation and clustering of customer database. *Vestnik USATU*, vol. 18, no 4, pp. 149–156 (in Russian).
10. Andreeva A.V. (2012) Optimal control of a company’s customer base using the customer lifetime value parameter. *Business Informatics*, no 4, pp. 61–68 (in Russian).
11. Tsoy M.E., Zaleshin P.A. (2017) Consumer segmentation on the basis of the study of consumer behavior styles. *Rossiyskoe Predprinimatelstvo*, vol. 18, no 21, pp. 3313–3326 (in Russian). DOI: 10.18334/rp.18.21.38543.
12. Mishra B.K., Hazra D., Tarannum K., Kumar M. (2016) Business Intelligence using Data Mining techniques and Business Analytics. Proceedings of the *5th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART 2016)*, 25–27 November 2016, Moradabad, India, pp. 84–89. DOI: 10.1109/SYSMAST.2016.7894496.
13. James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. (2013) *An introduction to statistical learning with applications in R*. New York: Springer.
14. Nielsen F. (2016) *Introduction to HPC with MPI for data science*. Springer.
15. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. (2017) *The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction*. Second Edition. Springer.
16. Kassambara A. (2017) *Practical guide to cluster analysis in R: Unsupervised machine learning. Multivariate analysis I*. STHDA.
17. Tripathi S., Bhardwaj A., E P. (2018) Approaches to clustering in customer segmentation. *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no 3.12, pp. 802–807. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.12.16505.
18. Gower J.C. (1971) A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, vol. 27, no 4, pp. 857–871.
19. Kislyakov A.N. (2020) Indicators of asymmetry in the tasks of studying the behavioral activity of product users. *Izvestia Sankt-Peterburgskogo Gosudarstvennogo Ekonomicheskogo Universiteta*, no 3, pp. 110–116 (in Russian).
20. Frunza M.-Ch. (2013) Computing a standard error for the Gini coefficient: An application to credit model validation. *Journal of Risk Model Validation*, vol. 7, no. 1, pp. 61–82. DOI: 10.21314/JRMV.2013.099.
21. Zorina A.A. (2014) The formation of fluctuating asymmetry during individual development of *Beluta pendula*. *Principles of the Ecology*, no 4, pp. 27–46 (in Russian).
22. Murtagh F., Contreras P. (2011) Methods of hierarchical clustering. *ArXiv*. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1105.0121.pdf> (accessed 30 March 2020).
23. Korolev O.L., Coussy Yu.M., Segal A.V. (2013) *Application of entropy in modeling decision-making processes in the economy*. Ed. A.V. Segal. Simferopol: OJAK Publishing House (in Russian).
24. Pechenyi E.A., Nuriev N.K., Starygin S.D. (2019) Dynamic clustering of big data flow. Proceedings of the *International Scientific Conference “Mathematical Methods in Technics and Technologies”*, vol. 3, Ed. A.A. Bolshakov). Saint-Petersburg: Polytechnical Institute Publishing House, pp. 19–21 (in Russian).
25. Prokofyeva E.S., Zaytsev R.D. (2020) Clinical pathways analysis of patients in medical institutions based on hard and fuzzy clustering methods. *Business Informatics*, vol. 14, no 1, pp. 19–31. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.1.19.31.
26. Yakimov V.N., Shurganova G.V., Cherepennikov V.V., Kudrin I.A., Il’in M.Yu. (2016) Methods for comparative assessment of the results of cluster analysis of hydrobiocenoses structure (by the example of zooplankton communities of the Linda River, Nizhny Novgorod Region). *Inland Water Biology*, vol. 9, no 2, pp. 200–208. DOI: 10.7868/S0320965216020169.
27. Baranov S.G., Burdakova N.E. (2015) *Assessment of development stability. Methodological approaches*. Vladimir: Vladimir State University Publishing House (in Russian).

About the author

Alexey N. Kislyakov

Cand. Sci. (Tech.);

Associate Professor, Department of Information Technologies, Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Vladimir Branch, 59a, Gorky Street, Vladimir 600017, Russia;

E-mail: ankislyakov@mail.ru

ORCID: 0000-0001-8790-6961

Модель оптимизации плана закупок сырья из регионов России лесоперерабатывающим комплексом

Р.С. Рогулин 

E-mail: rafassiaofusa@mail.ru

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса

Адрес: 690014, г. Владивосток, ул. Гоголя, д. 41

Дальневосточный федеральный университет

Адрес: 690922, Приморский край, остров Русский, п. Аякс, д. 10

Аннотация

В статье предложена модель формирования устойчивых цепочек поставок сырья для лесоперерабатывающего комплекса, позволяющая в совокупности оптимизировать план закупок на российской сырьевой бирже и план выпуска готовой продукции. Модель представляет собой задачу математического программирования, в качестве целевой функции которой используется прибыль предприятия, а входными данными являются прогнозные значения структуры и объемов предложений на российской товарной бирже и спроса на готовую продукцию. Рекуррентные зависимости модели описывают потоки сырья на складе предприятия с учетом поступлений по покупаемым лотам, времени нахождения в пути и расходом ресурсов на производство моделируемых объемов выпускаемой продукции. Ограничения в модели представляют собой формализацию ограниченности потока финансовых ресурсов с учетом продаж и характеристики склада. Переменными оптимизации являются объемы посуточного выпуска готовой продукции по заданной номенклатуре и переменные, задающие включение лота в портфель приобретаемых на бирже заявок. Решение модели находится методом ветвей и границ с предварительным отсечением модифицированным методом Гомори. Рассмотрен пример формирования оптимальных планов закупки и выпуска лесоперерабатывающего комплекса из Приморского края, не имеющего собственных лесных участков, обеспечивающих производство сырьем. Дана оценка целесообразности взаимодействия предприятия с лесным отделом товарно-сырьевой биржи.

Ключевые слова: цепочка поставок; экономика предприятия; лесная биржа; анализ данных; норма затрат ресурсов; вместимость склада.

Цитирование: Рогулин Р.С. Модель оптимизации плана закупок сырья из регионов России лесоперерабатывающим комплексом // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 4. С. 19–35. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.19.35

Введение

В любой отрасли экономики производство является достаточно сложным и трудоемким процессом, при управлении которым возникают разные по уровню и степени сложности задачи, требующие соответствующего инструментария для нахождения оптимальных решений. В своей стратегии развития предприятие может ориентироваться на разные с финансовой точки зрения цели. В большинстве случаев такой целью является максимизация получаемой прибыли, величина которой зависит от многих факторов внешней и внутренней среды предприятия.

Как правило, весь процесс производства можно разделить на три стадии. Первая – обеспечение материальными ресурсами (сырье, материалы). Вторая – производство. Третья – реализация готовой продукции, в том числе логистика.

Каждый из этих процессов сложен по-своему. Серьезную проблему любому производству в лесной отрасли доставляет обеспечение ресурсами [1]. Если необходимое сырье приобретается за пределами предприятия, то перед предприятием стоит задача выбора лучшего варианта по покупке и доставке сырья из районов добычи до места производства. Для лесопромышленного предприятия, покупающего сырье на товарной бирже, количество возможных вариантов на горизонте планирования в несколько месяцев достаточно велико, что требует анализа значительного объема данных и использования специальных инструментов [2, 3].

Другим важным вопросом является задача выбора оптимального объема производимой продукции по каждому виду, с учетом сложившегося на рынке спроса [3, 4]. Однако формировать план производства на среднем или дальнем горизонтах планирования без понимания сложившейся конъюнктуры рынка сырья сложно и даже опасно для дальнейшего существования предприятия. Может оказаться, что цены на сырье слишком высоки для его покупки в достаточном количестве, в то время как план производства сверстан из расчета на получение этого вида сырья. В связи с этим для качественного планирования объемов производства важен учет тенденций на рынке сырья.

Для решения вопроса об оптимальном плане выпуска необходимо строить его на основе имеющегося прогноза или известного распределения

заявок, продаваемых на рынке. Таким образом, возникает вопрос, известный в литературе как проблема управления цепями поставок (supply chain management, SCM).

1. Обзор литературы и постановка задачи

Задачи класса SCM всегда сложны с нескольких точек зрения. Во-первых, нет точного универсального метода поиска оптимальных или более-менее эффективных решений задач класса SCM [4]. Во-вторых, существует огромное число факторов, которые необходимо учесть при поиске решений [1, 3, 5].

В лесной отрасли имеется своя специфика процесса доставки сырья. Сырье, добываемое в лесной отрасли, очень похоже на продукцию пищевой промышленности, поскольку у обоих присутствует временной фактор – фактор годности запасов. Если сырье лежит слишком долго, то высока вероятность того, что оно испортится и потеряет ликвидность. Поэтому скорость доставки сырья до пункта производства должна быть максимальной [2, 3].

Для достижения максимальной скорости доставки сырья, чтобы сырье оставалось ликвидным для производителя, необходимо, во-первых, знать распределение рыночных заявок [1], во-вторых, учитывать время доставки сырья [4, 6], в-третьих, учитывать не менее важный фактор количества потребляемых типов сырья на единицу производимого товара, а также учитывать запасы каждого сырья и максимальную вместимость склада.

Авторы работы [7] разработали для системы доставки сырья одну из редких чисто линейных моделей. В результате преобразования задачи линейного программирования в двухэтапную задачу, основанную на сценариях, появилась возможность устранить неопределенность уровней производства и погодных условий. Модель с применением сценариев свела к минимуму общие затраты, включая на транспортировку, расширение склада и штрафы за нарушение пропускной способности.

Авторы работы [4] решили задачу о формировании цепочки поставок, принимая во внимание нормы трудозатрат на производство каждой единицы продукции. Коллектив авторов моделирует ситуацию по доставке до потребителей конечного товара путем формирования матрицы входных и выходных потоков. В качестве целевой функции использовался показатель разности дохода от продаж и затрат на транспортировку товаров. Следует

отметить, что решение такой задачи носит одно-разовый характер для сложившейся текущей ситуации, а для решения последующих задач по поставке товаров потребуются снова решать эту задачу. Это крайне сложно с точки зрения объема вычислений.

В статье [8] рассмотрен новый многопериодный проект цепочки поставок из нескольких продуктов, который учитывает экономические, экологические и социальные аспекты. Модель нацелена на минимизацию общей стоимости системы, включая постоянные затраты на установку, транспортировку, производство, закупку, распределение и охрану окружающей среды. В модели рассматриваются несколько аспектов проектирования сети цепочек поставок, таких как пропускная способность объектов, максимальный радиус охвата, ограниченный бюджет, а также минимально приемлемый уровень для социальной оценки предприятий и распределительных центров. Модель фиксирует различные категории неопределенности, включая как сторону поставщика, так и сторону получателя. Чтобы иметь дело с неопределенными параметрами, применяется подход нечеткого программирования с ограниченными возможностями. Несколько тестовых задач используются для анализа характеристик предлагаемой задачи. Результаты расчетов показывают, что учет различных категорий неопределенности имеет решающее значение для проектирования эффективной и действенной сети цепочек поставок. К недостаткам данной модели следует отнести отсутствие учета доставки сырья до пункта производства, а также максимального объема сырья и товаров, которые могут одновременно находиться на складах.

Авторы работы [9] утверждают, что снижение рыночных цен приводит к необходимости снижения затрат на поставку древесной щепы для обеспечения прибыльности в цепочке поставок и продолжения поставок лесной щепы. Измельчение и транспортировка являются двумя основными факторами, влияющими на общие расходы в системе снабжения биотопливом. Для того, чтобы полностью использовать полезную нагрузку грузового транспорта и снизить транспортные расходы, остатки лесозаготовок обычно скалывают при посадке так, чтобы минимизировать пустое пространство. Для подрядчика важно максимально увеличить долю эффективного рабочего времени по отношению к запланированному рабочему времени. В настоящее время весьма распространено мнение, что эффективное рабочее время составляет менее 50

процентов от запланированного рабочего времени из-за транспортировки стружки с использованием дробилки, ожидания грузовиков для стружки и других задержек. Повышенная загрузка измельчителя требует большей координации между ним и погрузчиками стружки, доставляющими произведенную стружку заказчику. С помощью дискретно-событийного моделирования были построены модели систем снабжения, с целью изучения того, как расстояние транспортировки, количество грузовых автомобилей, планирование смены и буферы стружки влияют на системные затраты для высокопроизводительной системы дробилки. Стоимость системы и загрузка машины сильно различаются в зависимости от конфигурации системы.

В работе [10] авторами предложен новый подход для повторной оптимизации планов транспортировки бревенчатых грузовиков в режиме реального времени при обнаружении непредвиденного события. Этот подход использует пространственно-временную сеть для представления эволюции транспортной сети с течением времени и изменений, которые она претерпевает после сбоя. Разрешенные поездки и операции загрузки / выгрузки используются в качестве входных данных для математической модели. Последнее решение представляет собой конечный транспортный план. Процедура моделирования была разработана для генерации непредвиденных событий для реальных приложений. По сравнению с полным информационным сценарием, где предполагается, что сбой известен заранее, предлагаемый подход дает очень хорошие результаты. Кроме того, как утверждают авторы, математическая модель была решена за несколько секунд и, таким образом, хорошо подходит для использования в реальном времени. Однако следует отметить, что авторы не учитывают разные дополнительные факторы, такие как производство и вместимость склада.

Авторы статьи [11] предложили воспользоваться генетическим алгоритмом (genetic algorithm, GA), чтобы найти набор Парето-оптимальных решений многоцелевой цепочки поставок с четырьмя эшелонами, используя два различных подхода к взвешиванию. Авторы работы [12] разработали модель для поставок сырья с применением двухуровневой системы сборки в условиях неопределенности времени выполнения заказа, чтобы минимизировать ожидаемые затраты на хранение компонентов и максимизировать уровень обслуживания клиентов. Они использовали две многоцелевые мета-

эвристики, основанные на GA, чтобы решить эти проблемы. В работе [13] предоставлены сети поставок, основанные на генетических алгоритмах, в частности, основанных на знаниях (knowledge-based genetic algorithm, KBGA) для оптимизации. В работе [14] сформулирована многоцелевая модель смешанного целочисленного программирования для замкнутого цикла проектирования сети. В дополнение к общим затратам модель оптимизирует общие выбросы углерода и скорость отклика сети. Улучшенный генетический алгоритм, основанный на структуре NSGA II, разработан для получения оптимальных по Парето решений

Кроме того, в работе [15] авторы рассмотрели двухступенчатую модель стохастического программирования, используемую для проектирования и управления цепочками поставок биодизеля на производствах разных типов. Модель отражает влияние неопределенности в поставках биомассы и технологий на решения, связанные с цепочкой поставок. Авторы решили эту проблему, используя алгоритмы, сочетающие релаксацию Лагранжа и методы L-образного решения.

На основании проведенного обзора литературы можно считать, что тематика формирования цепочек поставок сырья серьезно прорабатывалась в литературе и, ввиду отсутствия единых подходов к решению этой проблемы, имеет высокую степень актуальности. Кроме того, отсутствуют работы, которые рассматривали бы возможность поставок сырья с товарно-сырьевых бирж с учетом различных производственных ограничений.

Таким образом, целью исследования является разработка метода формирования оптимальных планов закупки сырья на товарной бирже и выпуска готовой продукции, обеспечивающих максимум прибыли предприятия до налога на заданном горизонте планирования, чтобы оценить возможности сотрудничества предприятия с биржей.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- ♦ разработать математическую модель, позволяющую максимизировать прибыль предприятия на основе оптимизации планирования закупок и объемов производства с использованием прогноза структуры и объемов предложений на российской товарной бирже и спроса на готовую продукцию;

- ♦ апробировать модель в условиях реального предприятия и исследовать вычислительные аспекты применения модели;

- ♦ предложить подход к оценке возможностей сотрудничества предприятия с биржей.

2. Модель формирования оптимального плана закупок сырья и выпуска готовой продукции

Типовое предприятие лесопереработки может иметь возможность аренды участка (выиграть тендер), найти в ближайшем округе деляны (юридическая форма взятых в аренду лесных участков) и закупать сырье с этой деляны, а также рассмотреть альтернативные источники поставок сырья, включая внешние источники [16, 17]. Далее будем рассматривать предприятия, которые закупают сырье из внешних источников. Для тестирования модели возьмем одно из предприятий Приморского края России.

Таким образом, рассматривается задача формирования оптимальных планов закупки сырья и выпуска продукции производственной компанией лесоперерабатывающей отрасли на заданном горизонте планирования M с учетом предложений на рынке со стороны лесодобывающих предприятий и спроса на готовую продукцию.

В начальный момент времени $t = 0$ происходит планирование закупок сырья и производства продукции на весь заданный горизонт $t \in \{0, 1, \dots, M\}$. На этом горизонте для каждого m -го дня заданы набор предложений на рынке сырья (в виде заявок на товарно-сырьевой бирже) и спрос на производимую продукцию на рынке за рассматриваемый период. Биржевая заявка задается регионом лесодобывающей компании, объемом и ценой, включающей стоимость доставки. Спрос на рынке готовой продукции задается возможной ценой продажи для каждого вида продукции.

В качестве целевой функции модели будем рассматривать накопленную прибыль.

Введем следующие параметры и переменные:

l – вид сырья для производства готовой продукции, $l = 1, \dots, L$;

k – тип производимой продукции, $k = 1, \dots, K$;

c_{ilrm} – цена покупки i -й заявки сырья l -го типа в r -м регионе в m -й день (руб.), включая стоимость доставки;

v_{ilrm} – объем сырья типа l в заявке i из региона r в день m (m^3);

u_{lm} – запас на складе сырья типа l в день m (m^3);

u^{max} – максимальная вместимость склада (m^3);

$\dot{y}_{ilm}$ — объемы сырья типа l , купленные в предыдущем периоде, в отношении которых известно, что они поступят на склад в день m (m^3);

A_{lk} — объем затраченного ресурса l на производство единицы товара k (m^3);

p_{km} — цена продажи товара типа k в день m (руб.);

z_k — себестоимость продукции за вычетом стоимости основного используемого сырья (лесоматериалы);

FC — постоянные затраты в расчете на один день (руб.);

x_{km} — объем производства товаров типа k в день m (шт.);

l — количество заявок, которые были выкуплены предприятием в предыдущий период (до момента $m = 0$) и для которых даты прихода на склад известны;

R — количество регионов, из которых выставляются заявки (добывается и выставляется на торги сырье) на бирже;

T_r — норма временных затрат (в днях) на доставку любого объема сырья из региона r по железной дороге;

Q_{lnkm} — спрос потребителя n на товар k в день m ;

M — рассматриваемый горизонт планирования (дни), называемый текущим периодом;

$\dot{M}$ — количество дней из текущего периода, для которых закупленные заявки поступят на склад в течение следующего периода;

$Budget_0$ — бюджет предприятия, отведенный для введения торгов, по состоянию на момент начала работы модели;

$\dot{x}_{km}$ — гипотетический объем производства продукции типа k в день $m = 1 : \dot{M}$, который определяется следующим образом:

$$\dot{x}_{km} = \left[\frac{1}{2} \left(\max_{m^* \in [m-t, m]} (x_{km^*}, \dot{x}_{k(m^*-1)}) + \min_{m^* \in [m-t, m]} (x_{km^*}, \dot{x}_{k(m^*-1)}) \right) \right],$$

где t — количество дней, за которые выбираются максимальные и минимальные значения x_{km^*} в ограничениях (3) и (4) соответственно (математическая запись ограничений приведена ниже).

Значения параметров u_{l0} и $Budget_0$ задаются и соответствуют последнему дню предыдущего периода.

В качестве целевой функции будем рассматривать доналоговую прибыль предприятия на горизонте планирования M .

В результате математическая формулировка задачи выглядит следующим образом:

$$\sum_{k,m} (p_{km} - z_k) x_{km} - \sum_{i,l,r,m} c_{ilm} y_{ilm} \rightarrow \max \quad (1)$$

$$u_{lm} = u_{l(m-1)} + \sum_{i,r} y_{ilr(m-T_r)} y_{ilr(m-T_r)} + \sum_{i \in I, r \in R} \dot{y}_{ilm} - \sum_k A_{lk} x_{km}, l = 1 : L, m = 1 : M \quad (2)$$

$$\sum_l u_{lm} \leq u^{max}, m = 1 : M + \dot{M} \quad (3)$$

$$u_{lm} \geq u^{min}, l = 1 : L, m = 1 : M + \dot{M} \quad (4)$$

$$\sum_k A_{lk} x_{km} \leq u_{lm}, l = 1 : L, m = 1 : M \quad (5)$$

$$y_{ilm} = \begin{cases} 1, & \text{если куплена заявка } i \text{ с сырьем} \\ & \text{типа } l \text{ в регионе } r \text{ в день } m \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (6)$$

$$Budget_0 + \sum_{m=1}^{m^*} \left(\sum_k (p_{km} - z_k) x_{km} - \sum_{i,l,r} c_{ilm} y_{ilm} - FC \right) \geq 0, m^* = 1 : M \quad (7)$$

$$x_{km} \leq \sum_n Q_{nkm}, k = 1 : K, m = 1 : M \quad (8)$$

$$Budget_0 = const \quad (9)$$

$$u_{l0} = const \quad (10)$$

$$u_{lm}, x_{km} \in Z^+ \quad (11)$$

$$u_{lm} = u_{l(m-1)} + \sum_{i,r} y_{ilr(m-T_r)} y_{ilr(m-T_r)} + \sum_{i \in I, r \in R} \dot{y}_{ilm} - \sum_k A_{lk} \dot{x}_{km}, l = 1 : L, m = M + 1 : \dot{M}. \quad (12)$$

Выражение (1) представляет собой целевую функцию, отражающую суммарную прибыль производства. Выражение (2) отражает рекуррентное соотношение запаса каждого вида сырья по состоянию на каждый день, в зависимости от периода планирования. Выражения (3) и (4) гарантируют наличие сырья на складе в пределах между минимальным запасом и максимальной вместимостью склада. Выражение (5) означает, что суммарное количество затраченного ресурса каждого вида не превысит запаса соответствующего типа сырья на складе в день m . Выражение (6) отражает принятое решение. Выражение (7) отражает минимальный объем бюджета в день m^* . Выражение (8) ограничивает объем про-

изводства спросом на рынке. Выражения (9) и (10) представляют собой входные данные. Выражение (11) гарантирует целочисленность полученного решения. Отметим, что выражение (12) при поиске оптимального решения не участвует, поэтому формула (12) используется после найденного оптимального решения модели (1–11).

Отдельного внимания заслуживает вычитаемая часть в целевой функции (1). Предприятие не имеет возможности покупки части лота ввиду специфики работы товарно-сырьевой биржи, поэтому в модели (1–12) в вычитаемой части целевой функции имеет место бинарная переменная y_{ilm} . Иначе говоря, компания либо берет лот полностью¹ (и тогда платит фиксированную стоимость за полный объем сырья в заявке, включающую стоимость доставки), либо отказывается от покупки целиком.

Модель (1–11) представляет собой задачу линейного целочисленного программирования. Отметим некоторые особенности данной задачи. Первое – то, что количество переменных растет с полиномиальной скоростью ($O(n^4)$). Второе – то, что количество ограничений с высокой вероятностью накладывает серьезную сложность на поиск первого допустимого решения, т.к. может резко уменьшаться полиэдральное допустимое множество решений [15, 18, 19].

Для ее решения будем использовать метод ветвей и границ с предварительным отсечением модифицированным методом Гомори, включенным в систему MathWorks².

3. Тестирование модели и калибровка

Для апробации модели было выбрано предприятие ООО «ДНС-Лес». Компания осуществляет непрерывное производство определенных видов товаров. По определенным не зависящим от компании причинам административного характера она не может получить в аренду участки для добычи сы-

рья. Поэтому предприятие рассматривает возможность закупки сырья из регионов РФ через Санкт-Петербургскую международную товарно-сырьевую биржу³ (далее – «биржа»). Предприятие использует два основных вида сырья: пиловочник ($l = 1$) и балансы ($l = 2$). Породы сырья не имеют значения ввиду технологических особенностей. Данные по результатам торгов на бирже размещаются на официальном сайте, где можно увидеть совершенные сделки за любой период.

Для тестирования модели используются данные предприятия «ДНС-Лес» и биржи за пять месяцев (с 01.02.2019 по 31.06.2019). За этот период по всем интересующим предприятие видам сырья было выставлено 752 заявки. Согласно данным биржи, за этот период в качестве продавцов сырья в торгах участвовали лесозаготовительные предприятия четырех регионов: Иркутская область ($r = 1$), Республика Удмуртия ($r = 2$), Московская область ($r = 3$) и Пермский край ($r = 4$). Поскольку биржа не раскрывает реальные названия и местоположения продавцов, более детальная информация о них отсутствует. За указанный период был собран массив следующих данных: цены предлагаемых заявок c_{ilm} , объемы заявок v_{ilm} , цены реализации конечных товаров p_{km} , количество заявок по каждому типу сырья. Кроме того, на основе анализа статистики продаж предприятия будем считать заданным на рассматриваемом горизонте планирования ежедневный спрос каждого вида товара $\sum_n Q_{nkm}$ ⁴.

Будем считать, что цены p_{km} , по которым реализуются товары на рынке, фиксированы и не изменяются в рамках горизонта планирования. Рассмотрим три случая ценовой политики предприятия. В первом случае цены расчетного периода совпадают с ценами, по которым предприятие реализовывало товары в период с января по июль 2019 г. Во втором случае цены предыдущего периода увеличиваются на 5%, что примерно соответствует уровню инфляции. В третьем варианте предприятие повышает ка-

¹ В этот лот уже включена стоимость доставки, т.к. у рассматриваемого предприятия отсутствует возможность самостоятельной доставки купленного сырья до своего склада. Здесь стоит уточнить, что если покупатель в состоянии самостоятельно заниматься доставкой сырья, то значение параметра c_{ilm} может иметь два значения: включающее и не включающее стоимость доставки. Если предприятие выбирает между оформлением доставки и отказом от нее, то такое решение можно рассматривать, как модификацию данной модели

² MathWorks. Documentation. Mixed-Integer Linear Programming Algorithms: <https://it.mathworks.com/help/optim/ug/mixed-integer-linear-programming-algorithms.html>

³ Официальный сайт Санкт-Петербургской международной товарно-сырьевой биржи (АО «СПбМТСБ»): <https://spimex.com/markets/wood/trades/results/>

⁴ Для дальнейших исследований в области моделирования процессов в области SCM планируется делать прогноз спроса на продукцию производителя на основе данных, имеющихся у предприятия. Однако в данной работе был использован уже зафиксированный объем спроса за 2019 год, и оценка возможности взаимодействия предприятия с биржей проводится на основе именно этих данных

чество выпускаемой продукции и считает, что может увеличить цены на величину, превосходящую инфляцию в два раза. Ежедневный объем спроса каждого типа будем задавать как равномерно распределенную случайную величину на интервале от 0 до 15. При увеличении цены на процент инфляции предполагаем, что такая динамика характерна для рынка в целом, поэтому спрос не меняется. При динамике цен выше изменений в целом по рынку будем считать, что эластичность спроса по цене примерно равна единице. Для рассмотрения изменения прибыли для каждой ценовой политики проведем по 50 реализаций определения оптимальных решений задачи и усредним показатели прибыли.

Таблица 1.

**Основные входные параметры
предприятия «ДНС-Лес»**

Параметр, ед. измерения	Значение параметра
$u^{max}, \text{м}^3$	7500
$u^{min}, \text{м}^3$	100
$u_{j0}^5, \text{м}^3$	(1550; 1550)
$p_{km}, \forall m \geq 0, k = 1:9, \text{тыс. руб.}$	(22,1; 32,8; 40,8; 43,7; 45,5; 48,5; 57,5; 60,5; 66,9) ⁶
$T_r, \text{дни}$	(3; 5; 6; 5)
$Budget_0, \text{руб.}$	10 000 000
$FC, \text{руб.}$	1 000 000

Источник: ООО «ДНС-Лес»⁷

Основные входные данные, характеризующие предприятие, представлены в *таблицах 1 и 2*.

Рассмотрим инструментальную сторону задачи. Расчеты выполнялись на компьютере с оперативной памятью в 16 Гб и с 12-поточным процессором Ryzon 2600x. В качестве встроенной функции воспользуемся `intlinprog`, которая является составной частью языка программирования Matlab. В качестве входных массивов для встроенной функции используем:

- ♦ целевую функцию, умноженную на -1^8 ;
- ♦ ограничения целочисленности всех переменных модели;
- ♦ матрицы ограничений;
- ♦ векторы правых сторон для ограничений типа равенств и неравенств;
- ♦ нижние и верхние границы значений переменных;
- ♦ начальную точку для поиска решения (пустой вектор);
- ♦ максимальное количество вершин полиэдрального множества допустимых решений, которое может пройти алгоритм (ед).

Поскольку задача имеет большую размерность, мы не можем гарантировать, что оптимальное решение будет найдено за адекватное время, поэтому было решено ограничить количество проходимых вершин множества допустимых решений в 10^7 ед. Если решение было найдено, но алгоритм вышел из цикла в связи с указанным выше ограничением, то будем считать, что решение является не оптимальным, а «условно-эффективным».

Таблица 2.

Затраты сырья на производство единицы товара

Тип сырья / номер товара (j) / (k)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\sum_k A_{jk}$
1	2	5	6	6	6	5	8	8	12	58
2	3	4	5	6	8	10	9	10	7	62

Источник: ООО «ДНС-Лес»

⁵ На начальный момент ($m = 0$) работы алгоритма (входные данные)

⁶ Вектор цен на конечные товары с номерами. По этим ценам предприятие отпускало товары на рынке пять месяцев подряд

⁷ Официальный сайт ООО «ДНС-Лес». Россия, Приморский край, г. Спасск-Дальний: <http://dns-les.ru/>

⁸ Умножение на (-1) обусловлено спецификой встроенной функции `intlinprog`. По умолчанию она направлена на поиск минимального значения целевой функции. Более детально с этой функцией можно ознакомиться по ссылке: <https://www.mathworks.com/help/optim/ug/intlinprog.html>

4. Обсуждение

В процессе тестирования было получено оптимальное решение. Время работы алгоритма составило 124,32 секунды, пройдено 87 562 вершины. Рассмотрим более подробно результаты решения задачи о поставках сырья на склад компании.

На рисунках 1 и 2⁹ представлена визуализация объемов запасов u_{lm} сырья l для каждого дня m . Более темным цветом отражается запас сырья на складе, более светлым — его поступление v_{lm} . Видно, что запас не опускался ниже значения $u^{min} = 100 \text{ м}^3$ и не превышал $u^{max} = 7500 \text{ м}^3$. Кроме того, следует отметить, что объем ресурса $l = 2$ в среднем хранился на

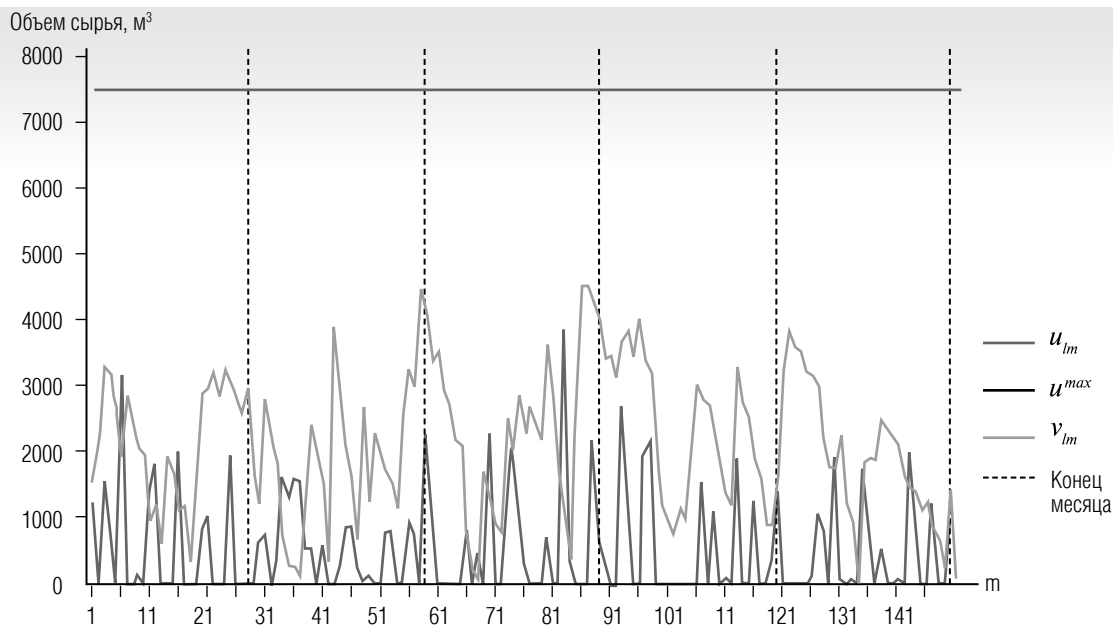


Рис. 1. Визуализация поступления и текущего состояния запасов сырья на складе на временном интервале $m = 1, \dots, M$ тип сырья $l = 1$

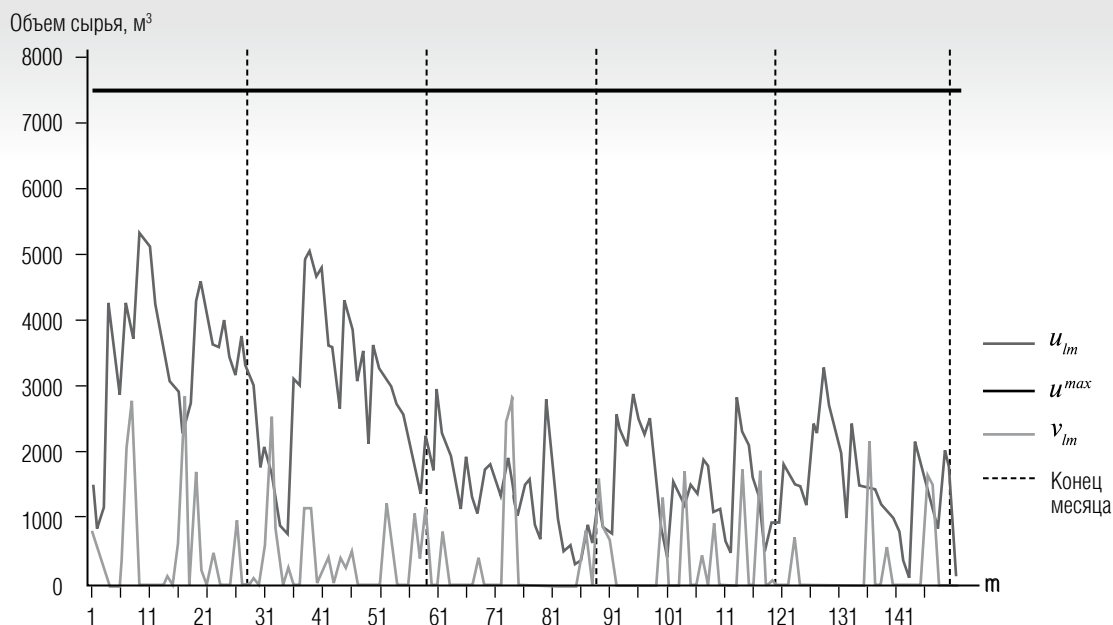


Рис. 2. Визуализация поступления и текущего состояния запасов сырья на складе на временном интервале $m = 1, \dots, M$ тип сырья $l = 2$

⁹ Все рисунки, кроме 4а и 4б, относятся к случаю, когда цены заданы без поправок на инфляцию

складе больше, чем $l = 1$. Это связано с нормой расходов сырья A_{jk} на каждую единицу товара. Основной приход сырья $l = 1$ приходится на март, апрель и май. Основной приход сырья $l = 2$ приходится на февраль и март. Интенсивность поставок сырья $l = 1$ выше, чем у $l = 2$, что связано с нормами затрат на производство A_{jk} . Отдельно отметим, что запас сырья на складе существенно меняется, что говорит о сложности планирования закупок сырья.

На рисунке 3 показан суммарный запас сырья на складе. Видно, что все пять случаев, когда запас сырья на складе был максимальным, приходятся на февраль и март. Это связано с тем, что запасы сырья второго типа в эти месяцы являлись максимальными. Из рисунка 3 следует, что пороговое значение минимального объема сырья на складе было достигнуто лишь однажды — в конце периода планирования. За исключением этого момента минимальный зафиксированный объем сырья на складе не опускался (вторая половина апреля, 84 день планирования) ниже отметки 990 м^3 . Из рисунка 3 также видно, что планирование цепочек поставок сырья представляет собой крайне сложную задачу, поскольку перепады объемов сырья на складе очень большие. Поэтому предприятию имеет смысл рассмотреть возможность расширения вместимости склада.

На рисунках 4а и 4б приведена визуализация средних значений накопленной и ежедневной прибыли предприятия соответственно. На рисунках обозначены динамика прибыли без учета роста цен в течение горизонта планирования, с учетом пятипроцентного роста цен ($p_{km} = 1,05 p_{km}$)¹⁰, а также в случае десятипроцентного роста цен ($p_{km} = 1,01 p_{km}$). Видно, что суммарное значение прибыли после апреля стабилизируется. Это связано со спросом, который к лету ослабевает¹¹, то есть присутствует фактор сезонности.

Рассмотрим рисунки 5 и 6. На них показаны объемы купленного сырья $l = 1$ и $l = 2$ из каждого региона по месяцам. Нижний столбик означает объем сырья, купленного в регионе. Сумма верхнего (надстройка) и нижнего столбиков означает объем сырья, выставленного на торги регионом в соответствующий месяц. Из этих рисунков следует, что больше всего сырья поступило из Иркутской области. Этот феномен объясняется тем, что максимальный объем сырья (относительно всех участников биржи) выставляется на торги именно в этом регионе. Также следует принять во внимание, что время доставки из Иркутской области является минимальным. Однако в апреле зафиксировано (рисунк 5), что объем сырья, полученный из Пермского

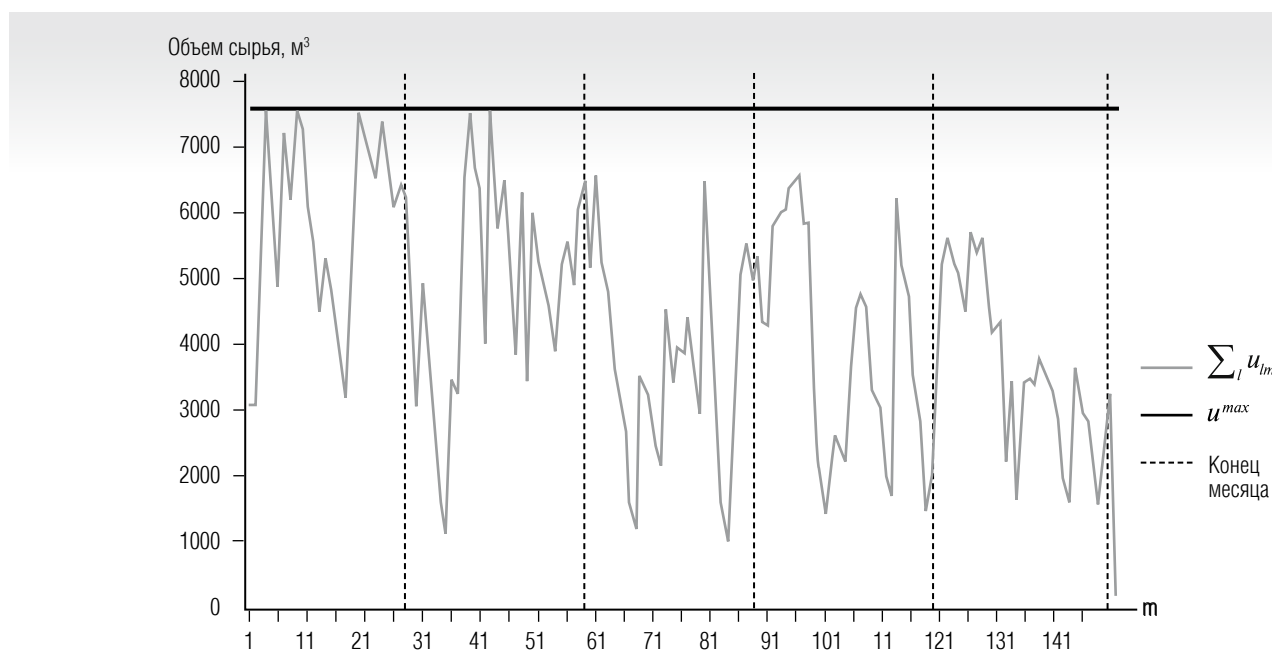


Рис. 3. Визуализация текущего состояния суммарного запаса всех видов сырья на складе $\sum_l u_{lm}$ по состоянию на каждый день

¹⁰ В данном абзаце знак « $\Rightarrow$ » выступает в качестве оператора переприсваивания.

¹¹ По данным ООО «ДНС-Лес»

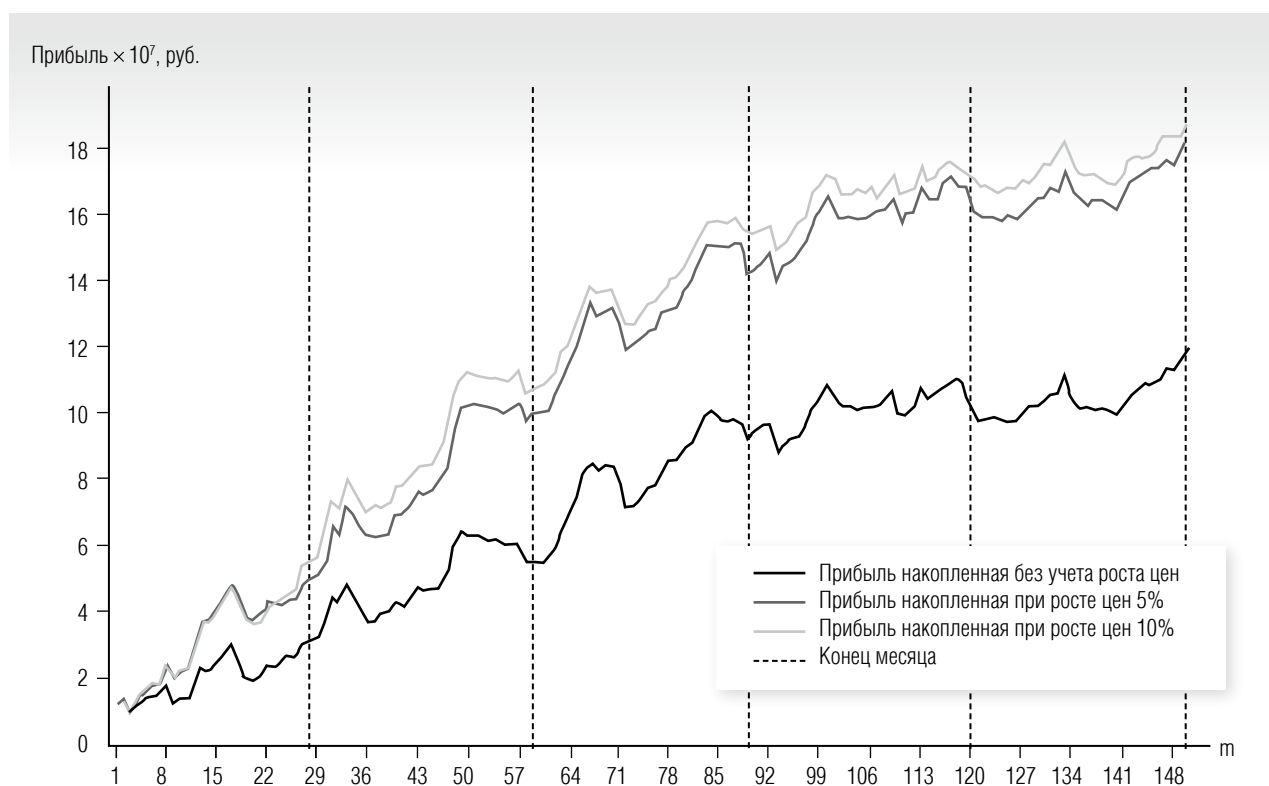


Рис. 4а. Визуализация средней накопленной прибыли предприятия

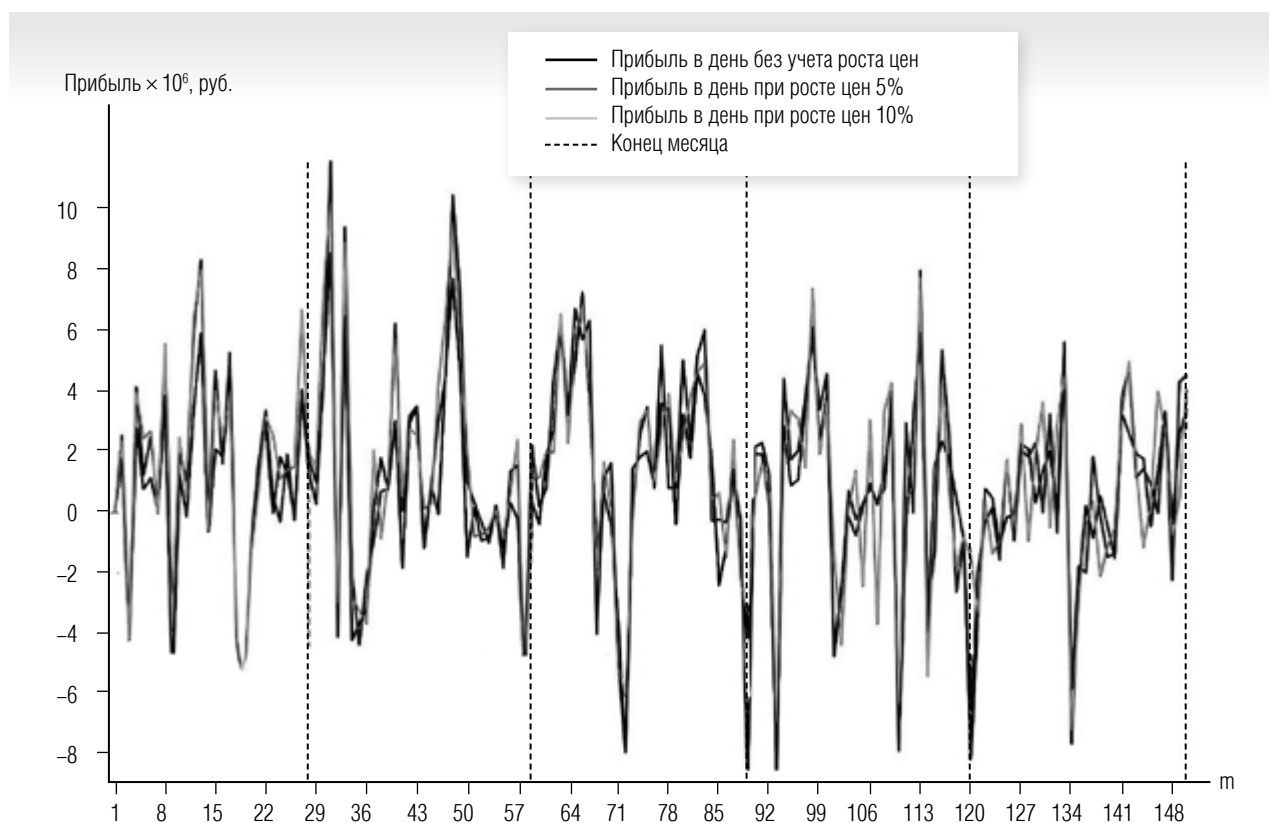


Рис. 4б. Визуализация средней ежедневной прибыли предприятия

края примерно такой же, как и объем, полученный из Иркутской области. Кроме того, в феврале (рис. 5) зафиксировано, что объемы поступившего сырья из Пермского края не ниже, чем объемы сырья, закупленные в Иркутской области, несмотря на то, что каждый месяц объем сырья в Иркутской области торгуется в больших объемах. Это объясняется ценами на сырье. Цены на сырье в Иркутской области выше, чем в любом другом регионе, что объясняется близостью этого региона к Китаю. В частности, имеется прямая железнодорожная ветка до КНР, где предприниматели покупают сырье по высоким ценам. В Пермском крае цены намного ниже, и он территориально более удален от Китая. Отсюда можно сделать вывод, что на практике предприятию следует осуществлять мониторинг рынка сырья в Пермском крае. Если в этом регионе сырье выставлено на торги, то его следует пристально рассматривать как потенциальное для покупки.

Кроме того, отметим, что по добываемому объему сырья Пермский край занимает второе место из четырех рассматриваемых регионов. Объем вывоза сырья из оставшихся регионов не вызывает инте-

реса, т.к. он в совокупности не превышает 30% от суммарного объема, полученного из Иркутской области и Пермского края.

Также из рисунков 5 и 6 следует, что объем добываемого сырья любого типа убывает по мере приближения к весне и лету. Это связано с транспортными проблемами при добыче сырья. Как правило, производство идет на ухищрение, которое в случае вскрытия надзирающими органами влечет за собой административную и уголовную ответственность, а также отзыв аренды участка для добычи сырья. Дело в том, что в Министерстве природных ресурсов и экологии Российской Федерации утверждаются нормы вырубki лесов каждый год по кварталам. Однако, поскольку в период межсезонной распутицы и летних высоких температур добывать сырье сложнее, предприниматели вырубают зимой больше, чем положено в квартал, а в годовой отчетности распределяют добытый объем согласно указаниям Министерства (что, несомненно, ведет к неправильной эксплуатации лесных ресурсов). Эту тенденцию можно заметить на рисунках 5 и 6¹².

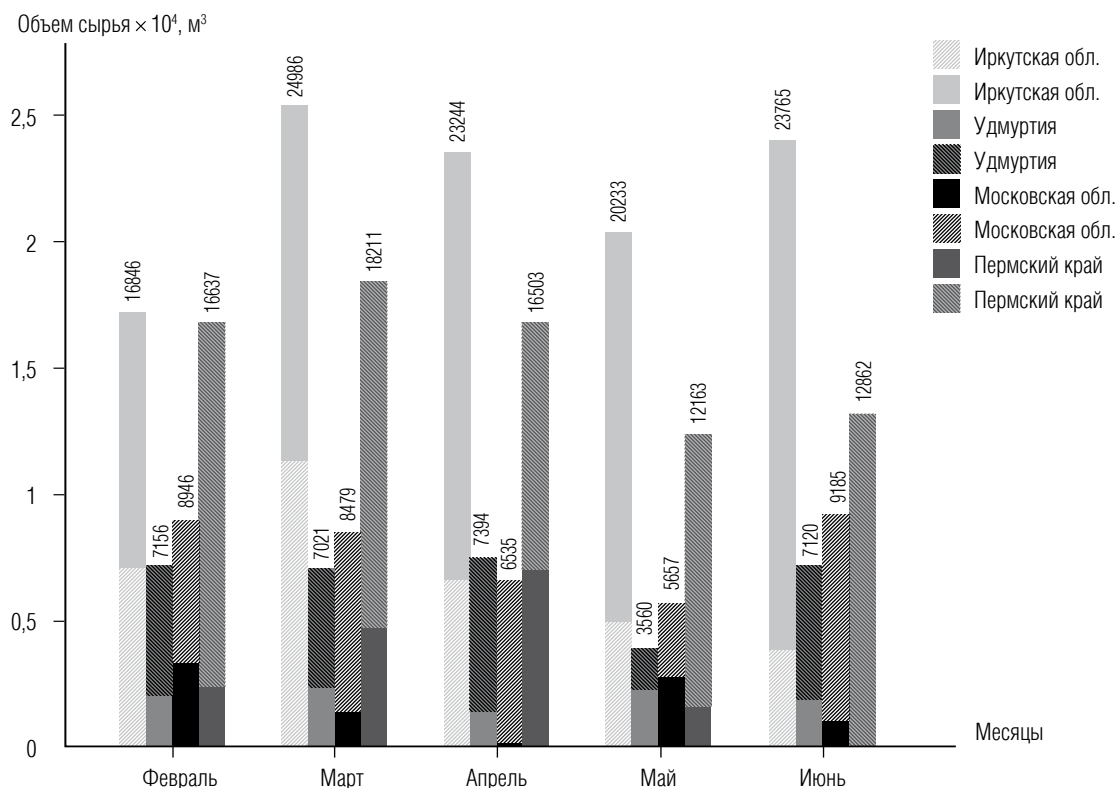


Рис. 5. Визуализация добываемых объемов сырья в каждом из регионов по месяцам

¹² Заметим, что данные биржи лишь показывают объем совершенных сделок, но и из них можно сделать те же выводы

Отдельно следует рассмотреть пары рисунков (1, 5) и (2, 6). Из них можно увидеть, что объем покупаемой продукции также снижается, что сказывается на стабилизации значения накопленной прибыли (рисунок 4).

Рассмотрим рисунок 7, на котором приведена визуализация объемов производства каждого продукта предприятия по месяцам. Данный рисунок отражает последствия снижения рыночного спроса на рынке к лету и, соответственно, стабилизацию роста накопленной прибыли (рисунок 4а).

Можно заметить, что объемы производства товаров первого и восьмого видов к лету возрастают по сравнению с маем, несмотря на то, что статистика покупок этих видов товаров показывает падение производства.

Также можно утверждать, что объем производства товаров второго типа следует уменьшать по мере приближения к лету.

Рассмотрим поведение объемов производства товаров 3, 4, 5 и 9. Объем реализованной продукции к марту достигает своего пика (3, 4, 9) в то время, как после этого месяца объем проданной продукции этих типов неизменно падает. Исключение со-

ставляет 5-й тип товара: для него рост и падение производства монотонны (максимальный объем производства был достигнут в апреле, но после наметился спад).

Исключением из общего правила о снижении объемов реализации каждого типа продукции стал товар 6. Он показывает уверенный рост относительно зимнего и раннего весеннего периодов. Таким образом, производство должно обратить внимание на его дальнейший выпуск в летний период.

Отметим, что объем производства товара типа 7 ведет себя несколько более сложно, чем другие. Здесь отчетливо можно заметить «скачущую» тенденцию производства. Однако определенно можно сказать, что этот тип товара всегда в значительной мере входил в план производства и, соответственно, имеет смысл включать его в летний производственный план.

Следует отметить, что при доставке сырья до потребителя в лесной отрасли есть особенность, заключающаяся в том, то предприятие часто отказывается от сырья, если последнее находится в пути достаточно долго (больше, чем указано в договоре купли-продажи). Это связано с потерей сырьем ка-

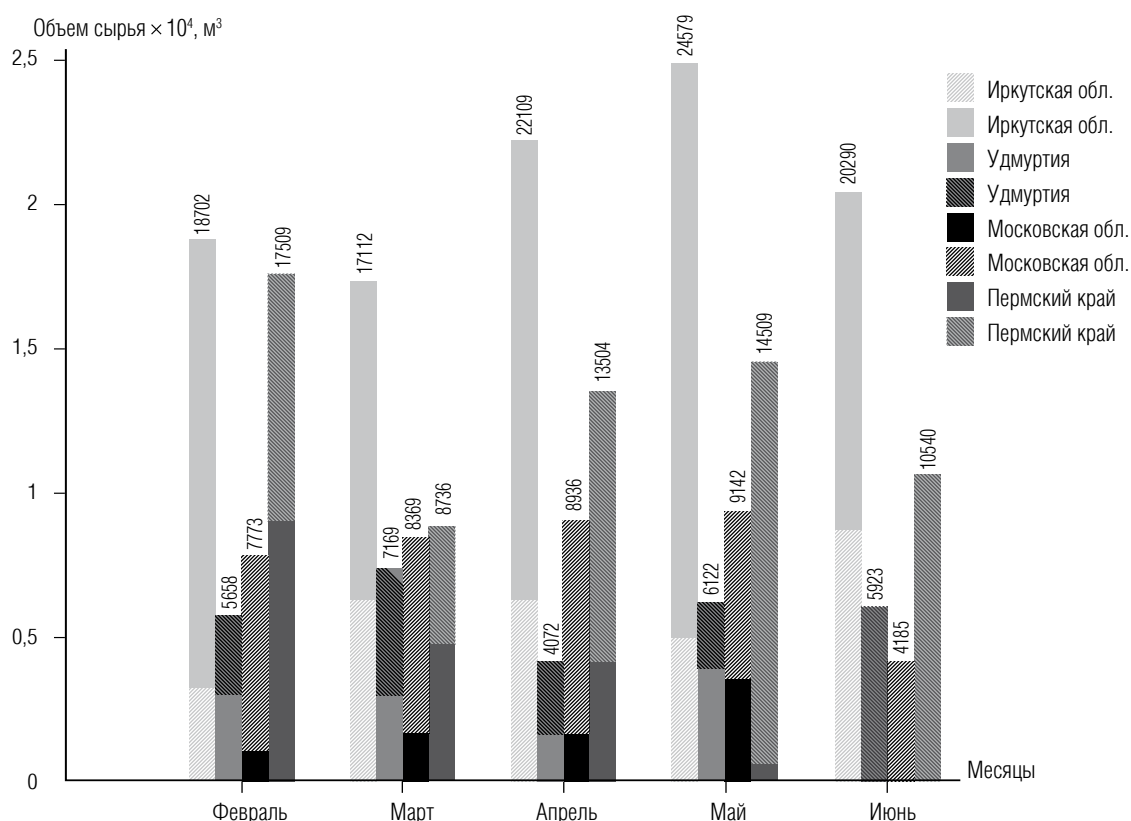


Рис. 6. Визуализация добываемых объемов сырья в каждом из регионов по месяцам

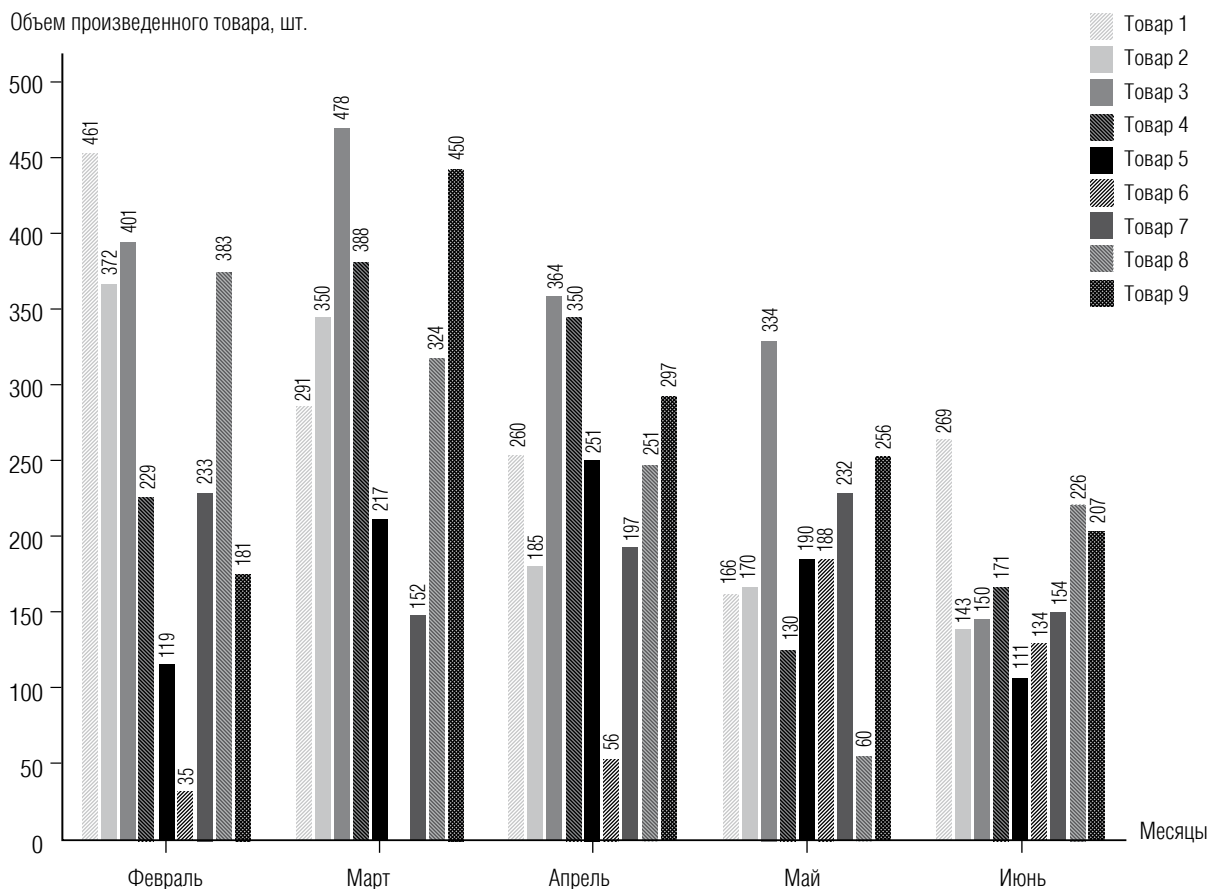


Рис. 7. Визуализация объемов производства каждого продукта предприятия по месяцам

чества, необходимого для производства в соответствии с технологией. Для моделирования данной особенности необходима модификация модели, которая может быть получена путем введения вероятностного распределения, характеризующего расстояние, пройденное каждый день по железной дороге, с учетом времени года. Как известно, чем ближе к зиме, тем ниже пропускная способность железных дорог.

Кроме того, следует упомянуть изменения в технологических процессах производства, в результате которых затраты на производство уменьшаются: $A_{lk}^{m+1} = \max(0, A_{lk}^m - \varepsilon_{lk})$, где A_{lk}^m — затраты сырья l на производство единицы товара k в день m , ε_{lk} — случайная неотрицательная величина. Учет вероятности изменения технологии производства представляет собой существенную модификацию модели. В конкурентной среде при моделировании процессов

производства и цепочек поставок сырья этот фактор становится одним из ключевых.

В данной статье рассмотрено предприятие, у которого нет своих делян. Однако следует учитывать, что в будущем предприятие может получить свои деляны, что также качественно скажется на его ценовой и ресурсной политиках.

Кроме того, необходимо провести тест решения, полученного на основе построенной модели. Такое решение может быть неустойчиво, если цены и объем спроса, будут меняться динамически. Для этого необходимо вводить стохастические величины (вычислять разные векторы цен по каждому типу товаров в каждый день) и многократно (скорее всего, параллельно¹³) возобновлять вычисления. Это, несомненно, существенно увеличит нагрузку на процессор и оперативную память. Также остается открытым вопрос о методе решения таких задач, по-

¹³ Параллельное программирование: <http://www.ccas.ru/mmes/distcompbook.pdf>

скольку нелинейные и/или стохастические задачи не имеют единого подхода к их решению [1, 4, 16].

Заключение

В работе предложена модель формирования устойчивых цепочек поставок сырья для предприятия лесоперерабатывающей отрасли. Модель позволяет максимизировать значение доналоговой прибыли и представляет собой задачу математического программирования, отличающуюся возможностью одновременного учета, с одной стороны, производственных норм потребления сырья для выпуска конечной продукции, а другой — формирования вектора закупок сырья на товарно-сырьевой бирже. Решением модели являются структура производства, последовательность закупки производством сырья на товарно-сырьевой бирже и значение прибыли в каждый отдельно взятый день работы предприятия. Процесс поиска оптимального решения задачи усложняется ее большой размерностью, целочисленными ограничениями и быстро растущей нагрузкой на оперативную память. Для решения таких задач стоит пользоваться комбинированными алгоритмами. В работе реализован двухступенчатый метод Гомори. С практической точки зрения, модель представляет собой инструмент, позволяющий сформировать оптимальный план производства на основе производственных факторов и объемов предложений сырья на товарно-сырьевой бирже в рамках всего горизонта планирования. В условиях отсутствия возможности привлечения капитала извне модель позволяет находить оптимальное решение, позволяющее предприятию избегать кассового разрыва.

Апробация модели выполнена на примере лесоперерабатывающего комплекса из Приморского края. На основе проведенных расчетов и полученного решения сформулированы рекомендации для управляющего звена компании по сотрудничеству с товарно-сырьевой биржей. Анализ решения показал, что, несмотря на территориальную близость Иркутской области к Приморскому краю, имеет смысл обратить внимание на покупку сырья из Пермского края, где имеется достаточный сырьевой потенциал и наблюдается более приемлемая ценовая политика. Как показал анализ, производство большинства типов товаров следует сокращать по мере приближения к лету, ввиду сезонности спроса и добычи сырья. В целом приведенные расчеты позволяют сделать выводы о возможности рациональных закупок сырья на товарно-сырьевой бирже.

Для анализа качественно более сложных бизнес-процессов предприятия имеет смысл выполнить модификацию модели путем введения вероятностных экономико-производственных факторов. Однако в этом случае остается открытым вопрос о методе решения усложненной задачи. ■

Благодарности

Автор выражает благодарность предприятию ООО «ДНС-Лес» за предоставленную информацию, а также ее генеральному директору Н. Тимоходцеву и начальнику лесного и производственного отдела А. Сычикову. Автор также выражает признательность своему научному руководителю — заведующему кафедрой математики и моделирования Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, доктору экономических наук Л.С. Мазелису.

Литература

1. Kogler C., Rauch P. Discrete event simulation of multimodal and unimodal transportation in the wood supply chain: A literature review // Silva Fennica. 2018. Vol. 52. No 4. Article ID 9984. DOI: 10.14214/sf.9984.
2. Haddouch H., Beidouri Z., El Oumami M. Supply chain management: A review of approaches, practices and impact on performance // International Journal of Supply Chain Management. 2019. Vol. 8. No 6. P. 1–13.
3. Escorcía-Caballero J.P., Moreno-Luzon M.D., Chams-Anturi O. Supply chain integration capability: An organizational routine perspective // International Journal of Supply Chain Management. 2019. Vol. 8. No 5. P. 39–47.
4. Обобщенная оптимизационная задача производственно-транспортных процессов на предприятии / Р.С. Рогулин и [др.] // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. № 6 (78). С. 133–141.
5. Mishra D., Gunasekaran A., Papadopoulos T., Childe S.J. Big Data and supply chain management: A review and bibliometric analysis // Annals of Operations Research. 2018. Vol. 270. No 1. P. 313–336. DOI: 10.1007/s10479-016-2236-y.
6. Tuljak-Suban D. Food supply chain: A review of approaches which enhance sustainability with a focus on social responsibility / 2016. [Электронный ресурс]: <https://www.intechopen.com/books/sustainable-supply-chain-management/food-supply-chain-a-review-of-approaches-which-enhance-sustainability-with-a-focus-on-social-respons> (дата обращения 01.07.2020). DOI: 10.5772/62536.
7. Cundiff J.S., Dias N., Sherali H.D. A linear programming approach for designing a herbaceous biomass delivery system // Bioresource Technology. 1997. Vol. 59. No 1. P. 47–55. DOI: S0960-8524(96)00129-0.

8. Zarrinpoor N. A chance-constrained fuzzy programming approach for a sustainable supply chain network design under multiple sources of uncertainty // *International Journal of Supply and Operations Management*. 2019. Vol. 6. No 4. P. 349–359. DOI: 10.22034/2019.4.5.
9. Eliasson L., Eriksson A., Mohtashami S. Analysis of factors affecting productivity and costs for a high-performance chip supply system // *Applied Energy*. 2017. Vol. 185. Part 1. P. 497–505. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.10.136.
10. Amrouss A., El Hachemi N., Gendreau M., Gendron B. Real-time management of transportation disruptions in forestry // *Computers & Operations Research*. 2017. Vol. 83. P. 95–105. DOI: 10.1016/j.cor.2017.02.008.
11. Altıparmak F., Gen M., Lin L., Paksoy T. A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks // *Computers & Industrial Engineering*. 2006. Vol. 51. No 1. P. 196–215. DOI: 10.1016/j.cie.2006.07.011.
12. Hnaïen F., Delorme X., Dolgui A. Multiobjective optimization for inventory control in two-level assembly systems under uncertainty of lead times // *Computers & Operations Research*. 2010. Vol. 37. No 11. P. 1835–1843. DOI: 10.1016/j.cor.2009.06.002.
13. Prakash A., Chan F.T.S., Liao H., Deshmukh S.G. Network optimization in supply chain: a KBGA approach // *Decision Support Systems*. 2012. Vol. 52. No 2. P. 528–538. DOI: 10.1016/j.dss.2011.10.024.
14. Shi S., Liu Z., Tang L., Xiong J. Multi-objective optimization for a closed-loop network design problem using an improved genetic algorithm // *Applied Mathematical Modelling*. 2017. Vol. 45. P. 14–30. DOI: j.apm.2016.11.004. DOI: j.apm.2016.11.004.
15. Marufuzzaman M., Eksioğlu S.D., Huang Y. Two-stage stochastic programming supply chain model for biodiesel production via wastewater treatment // *Computers & Operations Research*. 2014. Vol. 49. P. 1–17. DOI: j.cor.2014.03.010.
16. Задача комбинаторной оптимизации: поиск оптимального производственного и транспортного плана при организации производства на новых территориях / Р.С. Роголин и [др.] // *Вестник УрФУ. Серия экономика и управление*. 2019. Т. 18. № 3. С. 364–377. DOI: 10.15826/vestnik.2018.17.3.018.
17. Rabiee M., Zandieh M., Ramezani P. Bi-objective partial flexible job shop scheduling problem: NSGA-II, NPGA, MOGA and PAES approaches // *International Journal of Production Research*. 2012. Vol. 50. No 24. P. 7327–7342. DOI: 10.1080/00207543.2011.648280.
18. Srinivas N., Deb K. Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithms // *Journal of Evolutionary Computation*. 1994. Vol. 2. No 3. P. 221–248.
19. Bandyopadhyay S., Bhattacharya R. Solving a tri-objective supply chain problem with modified NSGA-II algorithm // *Journal of Manufacturing Systems*. 2014. Vol. 33. No 1. P. 41–50. DOI: j.jmsy.2013.12.001.

Об авторе

Роголин Родион Сергеевич

аспирант департамента математики и моделирования, Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, 690014, г. Владивосток, ул. Гоголя, д. 41;

ассистент кафедры прикладной математики, механики, управления и программного обеспечения, Дальневосточный федеральный университет, 690922, Приморский край, остров Русский, п. Аякс, д. 10;

E-mail: rafassiaofusa@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3235-6429

A model for optimizing plans for procurement of raw materials from regions of Russia in a timber-processing enterprise

Rodion S. Rogulin

E-mail: rafassiaofusa@mail.ru

Vladivostok State University of Economics and Service
Address: 41, Gogolya Street, Vladivostok 690014, Russia

Far Eastern Federal University
Address: 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok 690922, Russia

Abstract

In this paper a model for the formation of sustainable supply chains of raw materials for a timber processing complex is proposed. The model allows one to optimize the plan of purchases from the Russian Commodity Exchange, as well as the plan of manufacturing finished products. The model presents the task of mathematical programming, whereby the company's profit is used as the objective function, and the input data include the forecasted values of structure and volumes of offers available on the Russian Commodity Exchange, as well as demand for finished products. The recurrence dependencies of the model describe the flow of raw materials at the enterprise's warehouse, taking into account revenues from purchased lots, transportation time and consumption of resources that are required for production of simulated volumes of products. Constraints of the model represent formalization of the limited flow of financial resources, taking into account sales and warehouse characteristics. The optimization task deals with variables including volumes of daily output of finished products according to a given nomenclature, as well as variables that specify the inclusion of lots into the portfolio of applications purchased on the exchange. The model solution is found using the branch and bound method with preliminary clipping based on the modified Chvatal–Gomory method. One example considers formation of optimal plans for the purchase and sales in a timber processing complex located in the Primorsky Territory (Russia), which does not have its own forest plots providing production with raw materials. The usefulness of the interaction of the enterprise with the timber department of the commodity and raw materials exchange is assessed.

Key words: supply chain; enterprise economics; timber exchange; data analysis; resource consumption rate; warehouse capacity.

Citation: Rogulin R.S. (2020) A model for optimizing plans for procurement of raw materials from regions of Russia in a timber-processing enterprise. *Business Informatics*, vol. 14, no 4, pp. 19–35. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.19.35

References

1. Kogler C., Rauch P. (2018) Discrete event simulation of multimodal and unimodal transportation in the wood supply chain: A literature review. *Silva Fennica*, vol. 52, no 4, article ID 9984. DOI: 10.14214/sf.9984.
2. Haddouch H., Beidouri Z., El Oumami M. (2019) Supply chain management: A review of approaches, practices and impact on performance. *International Journal of Supply Chain Management*, vol. 8, no 6, pp. 1–13.
3. Escorcía-Caballero J.P., Moreno-Luzon M.D., Chams-Anturi O. (2019) Supply chain integration capability: An organizational routine perspective. *International Journal of Supply Chain Management*, vol. 8, no 5, pp. 39–47.
4. Rogulin R.S., Nechayev P.V., Pleshanov D.Ye., Yevdakimova N.S., Goncharov Ye.D., Maksimenko V.I. (2018) Complex optimization problem of production-transport processes. *Prikladnaya Informatika – Applied Informatics*, no 6, pp. 133–141 (in Russian).
5. Mishra D., Gunasekaran A., Papadopoulos T., Childe S.J. (2018) Big Data and supply chain management: A review and bibliometric analysis. *Annals of Operations Research*, vol. 270, no 1, pp. 313–336. DOI: 10.1007/s10479-016-2236-y.
6. Tuljak-Suban D. (2016) *Food supply chain: A review of approaches which enhance sustainability with a focus on social responsibility*. Available at: <https://www.intechopen.com/books/sustainable-supply-chain-management/food-supply-chain-a-review-of-approaches-which-enhance-sustainability-with-a-focus-on-social-respons> (accessed 01 July 2020). DOI: 10.5772/62536.
7. Cundiff J.S., Dias N., Sherali H.D. (1997) A linear programming approach for designing a herbaceous biomass delivery system. *Bioresource Technology*, vol. 59, no 1, pp. 47–55. DOI: S0960-8524(96)00129-0.
8. Zarrinpoor N. (2019) A chance-constrained fuzzy programming approach for a sustainable supply chain network design under multiple sources of uncertainty. *International Journal of Supply and Operations Management*, vol. 6, no 4, pp. 349–359. DOI: 10.22034/2019.4.5.
9. Eliasson L., Eriksson A., Mohtashami S. (2017) Analysis of factors affecting productivity and costs for a high-performance chip supply system. *Applied Energy*, vol. 185, part 1, pp. 497–505. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.10.136.
10. Amrouss A., El Hachemi N., Gendreau M., Gendron B. (2017) Real-time management of transportation disruptions in forestry. *Computers & Operations Research*, vol. 83, pp. 95–105. DOI: 10.1016/j.cor.2017.02.008.
11. Altıparmak F., Gen M., Lin L., Paksoy T. (2006) A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 51, no 1, pp. 196–215. DOI: 10.1016/j.cie.2006.07.011.
12. Hnaien F., Delorme X., Dolgui A. (2010) Multiobjective optimization for inventory control in two-level assembly systems under uncertainty of lead times. *Computers & Operations Research*, vol. 37, no 11, pp. 1835–1843. DOI: 10.1016/j.cor.2009.06.002.
13. Prakash A., Chan F.T.S., Liao H., Deshmukh S.G. (2012) Network optimization in supply chain: a KBGA approach. *Decision Support Systems*, vol. 52, no 2, pp. 528–538. DOI: 10.1016/j.dss.2011.10.024.
14. Shi S., Liu Z., Tang L., Xiong J. (2017) Multi-objective optimization for a closed-loop network design problem using an improved genetic algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, vol. 45, pp. 14–30. DOI: j.apm.2016.11.004. DOI: j.apm.2016.11.004.
15. Marufuzzaman M., Eksioğlu S.D., Huang Y. (2014) Two-stage stochastic programming supply chain model for biodiesel production via wastewater treatment. *Computers & Operations Research*, vol. 49, pp. 1–17. DOI: j.cor.2014.03.010.

16. Rogulin R.S., Maksimenko V.I., Zlobina D.V., Zhandarmov V.O., Pugacheva E.S., Matveev V.V. (2019) The task of combinatorial optimization: The search for an optimal production and transport plan when organizing production in new territories. *Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management*, vol. 18, no 3, pp. 364–377 (in Russian). DOI: 10.15826/vestnik.2018.17.3.018.
17. Rabiee M., Zandieh M., Ramezani P. (2012) Bi-objective partial flexible job shop scheduling problem: NSGA-II, NPGA, MOGA and PAES approaches. *International Journal of Production Research*, vol. 50, no 24, pp. 7327–7342. DOI: 10.1080/00207543.2011.648280.
18. Srinivas N., Deb K. (1994) Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithms. *Journal of Evolutionary Computation*, vol. 2, no 3, pp. 221–248.
19. Bandyopadhyay S., Bhattacharya R. (2014) Solving a tri-objective supply chain problem with modified NSGA-II algorithm. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 33, no 1, pp. 41–50. DOI: j.jmsy.2013.12.001.

About the author

Rodion S. Rogulin

Doctoral Student, Department of Mathematics and Modeling, Vladivostok State University of Economics and Service, 41, Gogolya Street, Vladivostok 690014, Russia;

Assistant Professor, Department of Applied Mathematics, Mechanics, Control and Software, Far Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok 690922, Russia;

E-mail: rafassiaofusa@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3235-6429

Нечеткая продукционная сеть для анализа качества микросервисной архитектуры

А.И. Долженко 

E-mail: doljenkoalex@gmail.com

И.Ю. Шполянская 

E-mail: irinaspol@yandex.ru

С.А. Глушенко 

E-mail: gs-gears@yandex.ru

Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)

Адрес: 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 69

Аннотация

В работе рассматриваются вопросы анализа качества микросервисных архитектур, которые являются одним из основополагающих подходов к созданию и сопровождению современных информационных систем, быстро реагирующих на изменения запросов бизнеса. Реализация непрерывной поставки программных компонентов для динамичных бизнес-процессов информационных систем может быть осуществлена различными наборами микросервисов, оптимальный выбор которых представляет собой сложную многоальтернативную задачу. В статье представлен обзор существующих подходов к решению задачи, который показал, что вопросы разработки моделей оценки качества микросервисов ИС требуют дальнейшей проработки в плане учета неопределенности в исходных данных и режимах функционирования. Предлагаемый подход к решению задачи анализа качества микросервисной архитектуры ИС реализован на базе нечеткой продукционной сетевой модели, которая позволяет использовать комплексный учет различных параметров (качественных и количественных). Приведен пример реализации разработанной нечеткой продукционной сети анализа качества функционирования микросервисной архитектуры ИС обработки заказов клиентов компании с помощью разработанного программного средства нечеткого моделирования. Результаты анализа позволят менеджерам и системным архитекторам проводить обоснованный выбор микросервисной архитектуры информационной системы, а также использовать его при аргументировании необходимости масштабирования системы и повышения доступности микросервисов.

Ключевые слова: микросервисная архитектура; сервис-ориентированная архитектура; качество обслуживания сервисов; бизнес-процесс; информационная система; нечеткая модель.

Цитирование: Долженко А.И., Шполянская И.Ю., Глушенко С.А. Нечеткая продукционная сеть для анализа качества микросервисной архитектуры // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 4. С. 36–46.

DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.36.46

Введение

Микросервисная архитектура является развитием сервис-ориентированной архитектуры (СОА) информационных систем (ИС). В отличие от СОА, микросервисная архитектура предполагает слабую связанность и сильное зацепление программных компонентов, а также возможность их реализации на различных технологических платформах [1]. В то же время вопросы выбора микросервисной архитектуры имеют общие черты с выбором веб-сервисов для сервис-ориентированной архитектуры ИС, что обуславливает близость методологических подходов к выбору СОА и микросервисных архитектур ИС.

Для микросервисной архитектуры технологические платформы реализации микросервисов могут быть различными и, следовательно, микросервисы могут поставляться различными вендорами. Этот факт определяет важность задачи оценки качества набора микросервисов для разработчиков ИС, что, в свою очередь, способствует эффективной реализации бизнес-задач предметной области информационной системы. Под бизнес-задачей понимается упорядоченная совокупность видов деятельности, которая по определенным правилам преобразует ресурсы, с целью достижения запланированного результата [2]. В качестве примера можно привести такие бизнес-задачи информационной системы, как взаимодействие с клиентами, обработка заказов, исполнение заказов.

При проектировании микросервисной архитектуры ИС используются два подхода к организации взаимодействия микросервисов — API Gateway и Message Bus.

API Gateway выполняет посредническую функцию между клиентами и микросервисами (рис. 1). Для клиентов API Gateway является единой точкой взаимодействия с микросервисами, обеспе-

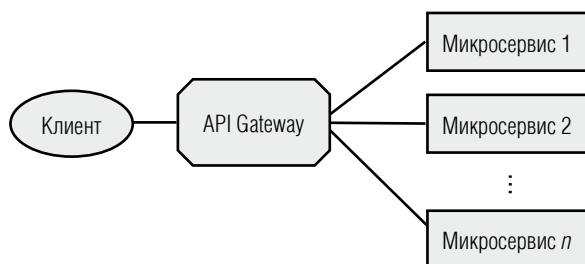


Рис. 1. Архитектура микросервисов с API Gateway

чивая перенаправление запросов клиента к конкретному сервису — бизнес-задаче. Кроме того, API Gateway может выполнять функцию балансировщика нагрузки.

При использовании шины сообщений Message Bus микросервисы подписываются на определенные события, возникновение которых инициирует выполнение заданной бизнес-задачи (рис. 2).

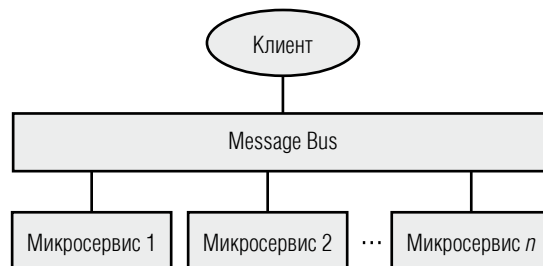


Рис. 2. Архитектура микросервисов с Message Bus

В рамках микросервисной архитектуры микросервисы не обмениваются сообщениями между собой, т.е. не взаимодействуют напрямую. Это исключает влияние качества обслуживания одного микросервиса на другой. Следует отметить, что даже при отказе одного или нескольких микросервисов другие микросервисы продолжают функционировать (Это обеспечивается свойством слабой связанности микросервисов в микросервисной архитектуре). При этом качество функционирования ИС снижается, но отказа всей системы не происходит.

Выбор оптимального набора микросервисов, реализующего бизнес-задачи информационной системы с заданным уровнем качества обслуживания, является важной задачей для повышения эффективности ИС [3]. Процессы принятия решений во время выполнения данной задачи протекают в условиях существенной неопределенности, обусловленной недостатком данных, сложностью построения функциональных зависимостей, определяющих качество реализации бизнес-функций, а также наборами микросервисов, реализованных на различных технологических платформах. Кроме того, качество выполнения бизнес-функций микросервисами зависит от функциональных (качественных) и нефункциональных (количественных) параметров, что повышает сложность принятия решений.

1. Обзор литературы

Рассмотрим существующие подходы к решению задачи выбора оптимального набора микросервисов путем построения модели микросервисной архитектуры ИС.

В работе [4] анализируется процесс моделирования микросервисов корпоративной ИС, типы микросервисных архитектур, способы взаимодействия микросервисов и вопросы обеспечения высокой производительности приложений. Предлагаемая методика позволяет создавать масштабируемые и отказоустойчивые приложения для ИС. Однако при этом не рассматриваются вопросы качества реализации микросервисами бизнес-функций ИС, что снижает ценность предложенного подхода.

В работе [5] рассматривается задача выбора ИТ-сервисов для внедрения в организации. Отмечается, что принятие решений при выборе ИТ-сервисов предприятия осуществляется в условиях неопределенности и неоднозначности. Предлагаемая модель структурного синтеза используется для разработки сервис-ориентированной архитектуры предприятия. В модели используется ориентированный гиперграф, в котором учитываются ограничения альтернативных проектных решений. Выбор наилучшего варианта набора информационных сервисов производится по заданным аддитивным критериям. В целом предлагаемый подход к решению задачи выбора ИТ-сервисов для предприятия может использоваться при проектировании микросервисов и сервис-ориентированных архитектур корпоративных ИС. Однако в модели структурного синтеза не учитывается неопределенность в исходных данных, качество ИТ-сервисов, реализующих бизнес-процессы, а также риски, связанные с использованием микросервисов информационной системой на различных технологических платформах.

В работе [6] предложена концепция к формированию СОА предприятия. Авторы предлагают аксиоматический метод для формализации предметной области. Знания о предметной области представляются в виде множества структурных элементов. Модели позволяют сформировать соответствие множества бизнес-функций множеству наборов информационных сервисов при определенных ограничениях (стандартов и стандартизированных решений). Формализация правил построения функции полезности элементов ИТ-сервисов и решающие правила могут быть использованы для интегральной оценки проектных решений. Анализируемая рабо-

та создает условия для формирования базы знаний по структурным, математическим и концептуальным основам систем принятия решений при выборе для заданной предметной области конкурентных сервис-ориентированных архитектур организации. В тоже время не анализируются риски реализации веб-сервисов, в частности, облачных сервисов, а также ограничения, связанные с неопределенностью в оценке качества реализации некоторых бизнес-процессов организации веб-сервисами.

В работе [7] рассматривается задача оценки технологического уровня ИТ-сервисов. Отмечается, что данная задача относится к классу слабоструктурированных. Предлагается использовать нечеткие множества для оценки технологического уровня формируемого варианта стратегического ИТ-профиля — набора ИТ-сервисов. При формировании лингвистических переменных для унифицированных показателей используются функции принадлежности трапецеидального вида на отрезке $[0,1]$. Агрегированное значение унифицированных показателей получают методом двойной свертки, а ранжирование показателей производится по правилу Фишберна. Для оценки меры технологического уровня формируемого проектного решения предлагается использовать отношение ранжированных показателей динамической и статической частей формируемого варианта стратегического ИТ-профиля. Анализ подхода, предложенного в работе [8], показывает, что автор предпринял попытку учесть в модели оценки технологического уровня ИТ-сервисов неопределенность в задании унифицированных показателей качества ИТ-сервисов. Однако корректность нечеткой модели в работе не обсуждается. Кроме того, при подготовке исходных данных для нечеткой модели экспертам достаточно сложно определиться с оценками, на основе которых формируются трапецеидальные функции принадлежности. Перечисленные сомнения в правомерности использования нечеткой модели могут быть устранены корректировкой параметров функций принадлежности нечеткой модели, но эти вопросы в работе [8] не рассмотрены.

В работе [9] рассматривается вопрос выбора корректного критерия сравнения веб-сервисов для систем в сервис-ориентированной архитектуре. Таким критерием автор считает чувствительность производительности при изменении нагрузки на веб-сервис. В то же время использование надежности и производительности веб-сервисов ограничивает применение данного подхода к решению задачи выбора набора веб-сервисов корпоративных ИС.

Применение нечетких моделей при выборе сервис-ориентированной архитектуры корпоративной ИС рассматривается в работе [10]. При этом используются функциональные и нефункциональные критерии. В качестве нефункциональных критериев рассматриваются единовременные, периодические и косвенные затраты. Функциональные требования определяются экспертным путем. Экономический аспект выбора веб-сервисов является определяющим в работе и не отражает других существенных аспектов решаемой задачи.

В работе [11] рассматривается проблема синтеза варианта конфигурации сервис-ориентированной архитектуры ИС. Предлагаются структурные модели для синтеза архитектуры информационной системы. Автор приводит концептуальную схему синтеза варианта конфигурации сервис-ориентированной архитектуры ИС, из которой сложно понять математическую модель решения поставленной проблемы.

Задачи выбора веб-сервисов, а также формирование эффективных критериев и методов отбора рассматриваются в работе [12]. Типичная процедура выбора соответствующих веб-сервисов из набора альтернатив для последующей интеграции в информационную систему основывается на требованиях, описывающих качество обслуживания [13]. При моделировании ИС с сервис-ориентированной архитектурой выполняется отбор соответствующих веб-сервисов из набора доступных сервисов с заданным качеством обслуживания нефункциональных требований, таких как производительность, надежность, безопасность, время отклика и т.д. [14–16].

Многие нефункциональные свойства веб-сервисов, такие как время отклика, носят стохастический характер. Динамическая среда развертывания сервиса в связи с различными условиями сети, задержками и перегрузкой сервера может привести к отклонению значений нефункциональных показателей качества обслуживания [17]. Некоторые веб-сервисы в конкретном наборе для информационной системы могут потребовать значительно большего времени выполнения, что, в свою очередь, увеличит общую стоимость владения.

Разработан ряд методов, основанных на характеристиках качества обслуживания для выбора соответствующих веб-сервисов из набора кандидатов с аналогичными функциями. Большинство из этих методов посвящены анализу нефункциональ-

ных характеристик веб-сервисов в качестве основных факторов, влияющих на выбор. В работе [18] авторами предложен системный подход к оценке качества для композитных сервисов со сложными структурами, с учетом вероятностей и условий каждого выполнения. В работе [19] рассмотрены эволюционные алгоритмы решения проблемы выбора веб-сервисов.

Приведенный обзор литературы показывает, что существующие подходы к решению задачи выбора оптимального набора микросервисов для ИС не в полной мере учитывают факторы, определяющие такой выбор, что приводит к снижению эффективности функционирования информационных систем. Таким образом, вопросы разработки моделей оценки качества микросервисов ИС требуют дальнейшей проработки в плане учета неопределенности в исходных данных и режимах функционирования.

2. Нечеткие методы и модели

Модель анализа качества микросервисной архитектуры ИС должна учитывать качественные и количественные параметры функционирования информационной системы, а также неопределенность в оценке исходных данных. Данные требования могут быть успешно реализованы за счет применения нечетких моделей, которые позволяют реализовать комплексный учет различных параметров (качественных и количественных). Кроме того, использование нечетких моделей предоставляет возможность построения моделей предметных областей, характеризующихся существенной неопределенностью, что актуально для решаемой задачи.

При построении модели анализа качества функционирования микросервисной архитектуры ИС предлагается использовать нечеткие продукционные сети [15]. Основой нечеткой продукционной модели являются нечеткие продукции:

ЕСЛИ x есть A , ТО y есть B ,

где x – входная переменная, $x \in X$;

X – область определения антецедента нечеткого правила;

A – нечеткое множество, определенное на X ;

$\mu_A(x) \in [0,1]$ – функция принадлежности нечетного множества A ;

y – выходная переменная, $y \in Y$;

Y – область определения консеквента нечеткого правила;

B – нечеткое множество, определенное на Y ;

$\mu_B(y) \in [0,1]$ – функция принадлежности нечетного множества B .

Допустим, что известна функция принадлежности нечетного множества $A - \mu_A(x)$, а нечеткое бинарное отношению $R \subseteq X \times Y$, отображающее импликацию $A \rightarrow B$, имеет функцию принадлежности $\mu_R(x, y)$. Тогда для нечеткого множества B функция принадлежности определяется по правилу композиции:

$$\mu_B(y) = \sup_{x \in X} \{T(\mu_A(x), \mu_R(x, y))\},$$

где $\sup$ – операция определения верхней границы множества элементов;

T – операция T -нормы.

В нечеткой продукционной модели (НПМ) входные переменные фаззифицируются для получения значений лингвистических переменных. На выходе будем иметь лингвистическую переменную, которая характеризует качество обслуживания бизнес-задачи микросервисом. Входные и выходные лингвистические переменные определим на следующих термах-множествах: $T_{in/out} = \{\text{«low» (L), «middle» (M), «higt» (H)}\}$. Терм L соответствует низкому уровню входного сигнала или низкому уровню качества обслуживания бизнес-функции микросервисом, терм M – среднему уровню, а терм H – высокому уровню.

Входные лингвистические переменные преобразуются в выходные с помощью набора продукционных правил.

3. Реализация метода

В качестве примера реализации предложенного подхода рассмотрим задачу анализа качества обслуживания микросервисной архитектуры ИС обработки заказов клиентов компании. Информационная система включает следующие бизнес-задачи: взаимодействие с клиентами, обработка заказов и исполнение заказов. Реализация данных функций может быть выполнена микросервисами, реализованными на различных платформах. При проектировании микросервисной архитектуры необходимо провести анализ качества обслуживания бизнес-задач микросервисами и получить обобщенный (интегральный) показатель качества обслуживания ИС.

Разработанная структура нечеткой продукционной сети анализа качества функционирования микросервисной архитектуры ИС обработки заказов клиентов компании приведена на рисунке 3.

Входными параметрами для микросервисов являются интенсивность запросов на обслуживание $Xn1$ (n – номер бизнес-задачи / микросервиса) и объем данных $Xn2$ запрашиваемых/передаваемых микросервисом. Входные данные должны быть предварительно нормализованы и приведены к интервалу $[0, 10]$. Нормализованные входные данные поступают на блоки фаззификации, которые формируют значения лингвистических переменных Lnm ($m = 1, 2$), определенных на терм-множествах $T_{in/out}$. Лингвистические переменные поступают на вход соответствующей базы правил (BRn), которая на основе сформированных нечетких продукций определяет выходные лингвистические переменные Yk ($k = 1, 2, 3$), характеризующие качество обслу-

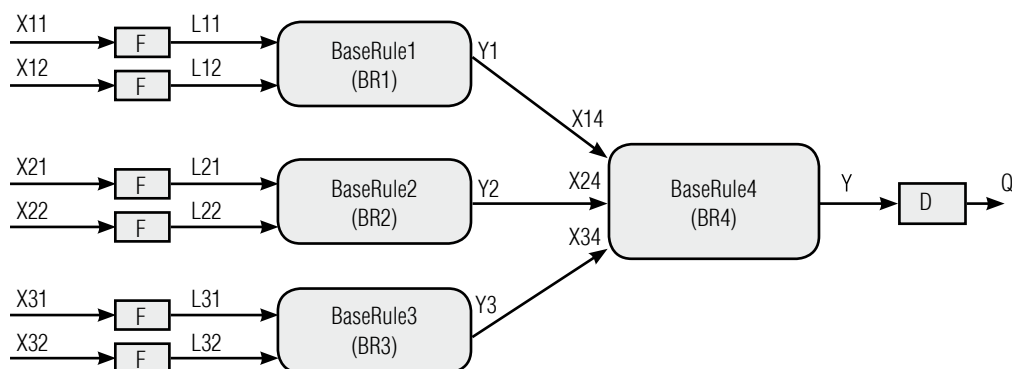


Рис. 3. Структура нечеткой продукционной сети

живания бизнес-задачи микросервисом. Лингвистические переменные Y_k являются входными для базы правил $BR4$, которая формирует оценку качества микросервисной архитектуры информационной системы. Выходная лингвистическая переменная Y характеризует качество микросервисной архитектуры ИС в целом. Параметры нечетких термножеств и базы правил задают эксперты.

Данные были получены в результате обобщения мнений экспертов с применением метода Дельфи, суть которого заключается в коллективном экспертном поисковом прогнозировании. Данный метод основан на анонимном опросе экспертов с проведением нескольких туров, с целью выявления согласованной оценки группы экспертов. В рамках подхода, предложенного в работе [20], предусматривается оглашение результатов предыдущего тура для дополнительной корректировки экспертом своей оценки в следующем туре.

При формировании баз правил для системы нечеткого вывода анализа качества микросервисной архитектуры ИС возникали ситуации, в которых группа экспертов формировала несовместимые правила. Для устранения данной проблемы были применены математические методы формирования баз правил в условиях несогласованности мнения экспертов [21, 22]. Суть методов заключается в добавлении несовместимых правил в базу правил с учетом уровня уверенности экспертов. Значение уровня уверенности для правила рассчитывается исходя из уровня квалификации и количества экспертов и определяется по формуле [21]:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i k_i}{\sum_{i=1}^n k_i},$$

где $\bar{y}$ — среднее значение уровня уверенности;

y_i — оценка предоставленная i -м экспертом;

n — общее количество экспертов в группе;

k_i — коэффициент компетентности i -го эксперта.

Отличие использованного метода от схожих методов, используемых при формировании баз правил при наличии противоречивых экспертных оценок состоит в учете каждого экспертного мнения с целью формирования взвешенного решения, что исключает потерю информации об объекте исследования. Алгоритм метода и подтверждающие численные эксперименты представлены в работе [22].

Пример базы правил $BR1$ для оценки качества обслуживания бизнес-задачи взаимодействие с клиентами микросервисом 1 приведен в таблице 1.

Выходная лингвистическая переменная Y поступает в блок дефазификации D , который формирует численное значение показателя качества микросервисной архитектуры ИС.

Реализация продукционной модели выполнена с помощью программного средства (ПС) нечеткого моделирования *ModelingFuzzySet* [23]. Для выполнения процесса нечеткого моделирования необходимо осуществить действия, которые подробно описаны в работе [24].

На первом шаге необходимо создать многоуровневую нечеткую продукционную модель с помощью дизайнера модели в соответствии с рисунком 3. Второй шаг предполагает формирование функции принадлежности для термножеств входных и выходных лингвистических переменных. На рисунке 4 приведены функции принадлежности для термножеств входной лингвистической переменной (ЛП) $X11$ «Интенсивность запросов клиента».

Таблица 1.

Нечеткие продукционные правила

Обозначение правил	Антецедент	Консеквент	Уровень уверенности
База правил 1 (BR1)			
R1.1	$(X11 = L \wedge X12 = L) \vee (X11 = L \wedge X12 = M) \vee (X11 = M \wedge X12 = L) \vee (X11 = M \wedge X12 = M)$	$Y1 = H$	1
R1.2	$(X11 = M \wedge X12 = H) \vee (X11 = H \wedge X12 = M) \vee (X11 = L \wedge X12 = H) \vee (X11 = H \wedge X12 = L)$	$Y1 = M$	0,9
R1.3	$X11 = H \wedge X12 = H$	$Y1 = L$	1

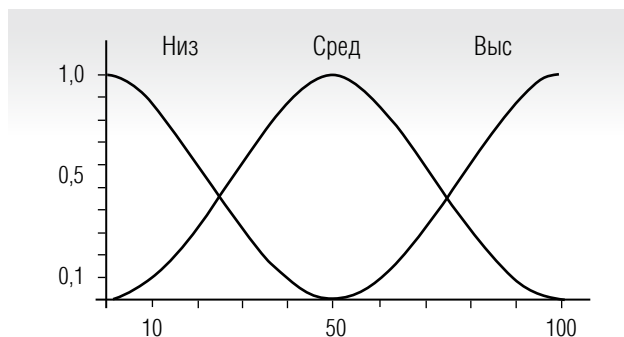


Рис. 4. Термы лингвистической переменной
«Интенсивность запросов клиента»

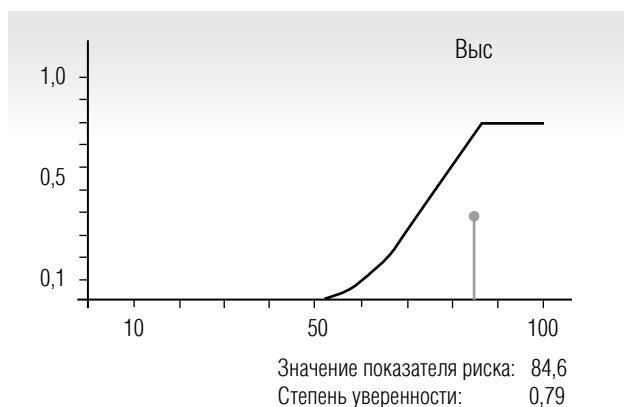


Рис. 5. Термы лингвистической переменной
«Качество микросервиса 1»

После выполнения третьего шага «Задание нечетких правил» был выполнен процесс нечеткого моделирования. Для получения оценки качества микросервиса 1 при нормализованной входной низкой («low» (L)) интенсивности запросов клиента ($X_{11} = 1,5$) и среднем («middle» (M)) объеме передаваемых данных ($X_{12} = 5,5$). В результате качество обслуживания микросервисом 1 бизнес-задачи взаимодействия с клиентами на модели оценивается как высокое («high» (H)) с уверенностью 79% (рисунок 5).

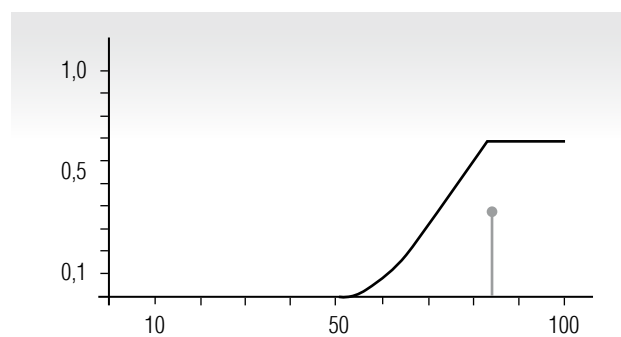


Рис. 6. Результаты моделирования качества
микросервисной архитектуры
информационной системы

При моделировании микросервисной архитектуры ИС при высоком качестве обслуживания микросервисами 1 и 2 ($X_{14} = 8,2$, $X_{24} = 9,5$) и среднем качестве обслуживания микросервисом 3 ($X_{34} = 7,5$) оценка качества обслуживания информационной системы высокая с уверенностью 70% (рисунок 6).

Заключение

Таким образом, в работе предложена нечеткая продукционная модель для анализа качества микросервисной архитектуры информационной системы. Результаты анализа могут быть использованы при выборе микросервисов различных вендоров, обосновании необходимости масштабирования системы, а также для повышения доступности микросервисов. На примере показаны возможности разработки микросервисной архитектуры ИС с использованием нечеткой модели для анализа качества ее функционирования.

В рамках дальнейших исследований по данному направлению авторы планируют выполнить проведение глубокого сравнительного анализа результатов применения предложенного метода и аналогичных подходов. ■

Литература

1. Маликов С.Н. Концепция сервис-ориентированного подхода к управлению информационными технологиями на основе аксиоматического метода // Информационные технологии. 2017. Т. 23. № 3. С. 212–218.
2. Грубников С.Ю. Определение понятия «бизнес-процесс»: онтологический уровень // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2019. № 2 (46). С. 241–249.
3. Долженко А.И. Задачи выбора облачных технологий для экономических информационных систем // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2014. № 4 (48). С. 22–27.

4. Шитько А.М. Проектирование микросервисной архитектуры программного обеспечения // Труды БГТУ. Серия 3: Физико-математические науки и информатика. 2017. № 2 (200). С. 122–125.
5. Парфенова М.Я. Структурный синтез профиля сервис-ориентированной ИТ-архитектуры // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 4 (16). С. 64–71. DOI: 10.21777/2312-5500-2016-4-64-71.
6. Ouzzani M., Bouguettaya A. Efficient access to web services // IEEE Internet Computing. 2004. Vol. 8. No 2. P. 34–44. DOI: 10.1109/MIC.2004.1273484.
7. Парфенова М.Я. Оценка технологического уровня формируемых вариантов стратегического ИТ-профиля организации на основе нечеткой модели // Материалы 10-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления МКУ–2017. В 3-х томах. 2017. С. 90–92.
8. Ньюмен С. Создание микросервисов. СПб.: Питер, 2016.
9. Евланов М.В. Разработка модели и метода выбора описания рациональной архитектуры информационной системы // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. Т. 79. № 2. С. 4–12.
10. Затеса А.В. Нечеткая модель стоимости в рамках сервисно-ориентированного подхода к архитектуре информационных систем // Экономика, статистика и информатика. 2010. № 6. С. 162–164.
11. Душкин Д.Н. Анализ чувствительности веб-сервисов в задаче выбора оптимальной конфигурации систем с сервисно-ориентированной архитектурой // Управление большими системами: сборник трудов. 2012. № 40. С. 164–182.
12. Zheng Z., Ma H., Lyu M.R., King I. QoS-aware web service recommendation by collaborative filtering // IEEE Transactions on Services Computing. 2011. Vol. 4. No 2. P. 140–152. DOI: 10.1109/TSC.2010.52.
13. QoS-aware middleware for Web services composition / L. Zeng [et al.] // IEEE Transactions on Software Engineering. 2004. Vol. 30. No 5. P. 311–327. DOI: 10.1109/TSE.2004.11.
14. Menasce D. QoS issues in web services // IEEE Internet Computing. 2002. Vol. 6. No 6. P. 72–75. DOI: 10.1109/MIC.2002.1067740.
15. Piegat A. Fuzzy modeling and control. Heidelberg: Physica-Verlag, 2001.
16. Rosario S., Benveniste A., Haar S., Jard C. Probabilistic QoS and soft contracts for transaction-based web services orchestrations // IEEE Transactions on Services Computing. 2008. Vol. 1. No 4. P. 187–200. DOI: 10.1109/TSC.2008.17.
17. Hwang S., Wang H., Tang J., Srivastava J. A probabilistic approach to modeling and estimating the QoS of web-services-based workflows // Information Sciences. 2007. Vol. 177. No 23. P. 5484–5503. DOI: 10.1016/j.ins.2007.07.011.
18. Zheng H., Zhao W., Yang J., Bouguettaya A. QoS analysis for web service compositions with complex structures // IEEE Transactions on Services Computing. 2013. Vol. 6. No 3. P. 373–386. DOI: 10.1109/TSC.2012.7.
19. Klein A., Ishikawa F., Honiden S. SanGA: A self-adaptive network-aware approach to service composition // IEEE Transactions on Services Computing. 2014. Vol. 7. No 3. P. 452–464. DOI: 10.1109/TSC.2013.2.
20. Хубаев Г.Н. Получение групповой экспертной оценки значений показателей: пошаговая процедура и программное обеспечение // Программные продукты и системы. 2011. № 2. С. 13–16.
21. Сергеева Ю.В. Математические методы коллективных экспертных оценок // Вестник Нижегородского института управления. 2016. № 1 (38). С. 33–40.
22. Сорокин А.А. Формирование базы правил системы нечеткого вывода в условиях несогласованных мнений экспертов // Управление большими системами: сборник трудов. 2019. № 81. С. 26–49. DOI: doi.org/10.25728/ubs.2019.81.2.
23. Долженко А.И., Глушенко С.А., Калугян К.Х., Лозина Е.Н., Чередниченко А.С. Система моделирования производственной нечеткой сети (ПРОНЕС). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010612952, 25.05.2010.
24. Глушенко С.А., Долженко А.И. Система нечеткого моделирования рисков инвестиционно-строительных проектов // Бизнес–информатика. 2015. № 2 (32). С. 17–27.

Об авторах

Долженко Алексей Иванович

доктор экономических наук, доцент;

профессор кафедры информационных систем и прикладной информатики, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 69;

E-mail: doljenkoalex@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8168-3290

Шполянская Ирина Юрьевна

доктор экономических наук, доцент;

профессор кафедры информационных систем и прикладной информатики, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 69;

E-mail: irinaspol@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-1834-6419

Глушенко Сергей Андреевич

кандидат экономических наук;

доцент кафедры информационных систем и прикладной информатики,
Ростовский государственный экономический университет (РИНХ),
344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 69;

E-mail: gs-gears@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9255-9722

Fuzzy production network model for quality assessment of an information system based on microservices

Alexey I. Doljenko

E-mail: doljenkoalex@gmail.com

Irina Yu. Shpolianskaya

E-mail: irinaspol@yandex.ru

Sergey A. Glushenko

E-mail: gs-gears@yandex.ru

Rostov State University of Economics

Address: 69, Bolshaya Sadovaya Street, Rostov-on-Don 344002, Russia

Abstract

This article describes the analysis of the quality of microservice architectures, which are one of the main approaches to the creation and maintenance of modern information systems capable of quickly respond to changes in business demands. The implementation of continuous delivery of software components for dynamic business processes of information systems can be carried out by various sets of microservices, the optimal choice of which is a complex multi-alternative task. The paper presents a review of existing approaches to solving the problem, which showed that the development of models for assessing the quality of microservices of information systems requires further elaboration in terms of accounting for uncertainty in the initial data and modes of operation. The authors have proposed an approach to solving the problem of analyzing the quality of a microservice architecture which is implemented on the basis of a fuzzy production network model. The model allows for comprehensive accounting of various parameters (qualitative and quantitative). The article shows the implementation process of the fuzzy production network that was developed to analyze the functional quality of the microservice architecture for processing customer orders using fuzzy modeling software. The results of the analysis will allow managers and system architects to make an informed choice of the microservice architecture of the information system, as well as use it in their reports when arguing the need for scaling the system and increasing the availability of microservices.

Key words: microservice architecture; service-oriented architecture; quality of service; business process; information system; fuzzy model.

Citation: Doljenko A.I., Shpolianskaya I.Yu., Glushenko S.A. (2020) Fuzzy production network model for quality assessment of an information system based on microservices. *Business Informatics*, vol. 14, no 4, pp. 36–46.

DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.36.46

References

1. Malikov S.N. (2017) Construction of the concept of service-oriented approach to management of information technologies based on the axiomatic method. *Information Technologies*, vol. 23, no 3, pp. 212–218 (in Russian).
2. Grubnikov S.Yu. (2019) Definition of the “business process” concept: The ontological level. *Herald of Tver State University. Series: Economics and Management*, no 2 (46), pp. 241–249 (in Russian).
3. Dolzhenko A.I. (2014) Tasks of selecting cloud technologies for economic information systems. *Vestnik of Rostov State University of Economics*, no 4 (48), pp. 22–27 (in Russian).
4. Shitko A.M. (2017) The design of the microservice software architecture. *Proceedings of BSTU. Series: Physics and Mathematics. Informatics*, no 2 (200), pp. 122–125 (in Russian).
5. Parfenova M.Ya. (2016) Structural synthesis of service-oriented IT architecture profile. *Educational Resources and Technologies*, no 4 (16), pp. 64–71. DOI: 10.21777/2312-5500-2016-4-64-71 (in Russian).
6. Ouzzani M., Bouguettaya A. (2004) Efficient access to web services. *IEEE Internet Computing*, vol. 8, no 2, pp. 34–44. DOI: 10.1109/MIC.2004.1273484.
7. Parfenova M.Ya. (2017) Assessment of technological level of formed variants of strategic IT-profile of the organization on the basis of fuzzy model. *Proceedings of the 10-th All-Russian Multi-Conference on Management Problems*, pp. 90–92 (in Russian).
8. Newman S. (2016) *Building microservices*. Saint-Petersburg: Piter (in Russian).
9. Evlanov M.V. (2016) Development of a model and method for choosing a description of rational information system architecture. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 79, no 2, pp. 4–12 (in Russian).
10. Zatesa A.V. (2010) Fuzzy cost model in terms of service-oriented architecture approach. *Economics, Statistics and Informatics*, no 6, pp. 162–164 (in Russian).
11. Dushkin D.N. (2012) Sensitivity analysis of web services in the problem of choosing the optimal system configuration with a service-oriented architecture. *Control in Large Systems: Collection of Works*, no 40, pp. 164–182 (in Russian).
12. Zheng Z., Ma H., Lyu M.R., King I. (2011) QoS-aware web service recommendation by collaborative filtering. *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 4, no 2, pp. 140–152. DOI: 10.1109/TSC.2010.52.
13. Zeng L., Benatallah B., Ngu A., Dumas M., Kalagnanam J., Chang H. (2004) QoS-aware middleware for Web services composition. *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 30, no 5, pp. 311–327. DOI: 10.1109/TSE.2004.11.
14. Menasce D. (2002) QoS issues in web services. *IEEE Internet Computing*, vol. 6, no 6, pp. 72–75. DOI: 10.1109/MIC.2002.1067740.
15. Piegat A. (2001) *Fuzzy modeling and control*. Heidelberg: Physica-Verlag.
16. Rosario S., Benveniste A., Haar S., Jard C. (2008) Probabilistic QoS and soft contracts for transaction-based web services orchestrations. *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 1, no 4, pp. 187–200. DOI: 10.1109/TSC.2008.17.
17. Hwang S., Wang H., Tang J., Srivastava J. (2007) A probabilistic approach to modeling and estimating the QoS of web-services-based workflows. *Information Sciences*, vol. 177, no 23, pp. 5484–5503. DOI: 10.1016/j.ins.2007.07.011.
18. Zheng H., Zhao W., Yang J., Bouguettaya A. (2013) QoS analysis for web service compositions with complex structures. *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 6, no 3, pp. 373–386. DOI: 10.1109/TSC.2012.7.
19. Klein A., Ishikawa F., Honiden S. (2014) SanGA: A self-adaptive network-aware approach to service composition. *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 7, no 3, pp. 452–464. DOI: 10.1109/TSC.2013.2.
20. Khubaev G.N. (2011) Obtaining a group expert evaluation of indicators: step-by-step procedure and software. *Software and Systems*, no 2, pp. 13–16 (in Russian).
21. Sergeeva Yu.V. (2016) Mathematical methods of group expert estimates. *Vestnik of Nizhny Novgorod Institute of Management*, no 1 (38), pp. 33–40 (in Russian).
22. Sorokin A.A. (2019) Development of rules base for a fuzzy inference system in the conditions of unharmonious expert’s opinion. *Control in Large Systems: Collection of Works*, no 81, pp. 26–49 (in Russian). DOI: doi.org/10.25728/ubs.2019.81.2.
23. Dolzhenko A.I., Glushenko S.A., Kalugyan K.Kh., Lozina E.N., Cherednichenko A.S. (2010) *Production fuzzy network modeling system (PRONES)*. Certificate of state registration of a computer program, no 2010612952, 25 May 2010 (in Russian).
24. Glushenko S.A., Dolzhenko A.I. (2015) Fuzzy modeling of risks in investment and construction projects. *Business Informatics*, no 2 (32), pp. 17–27 (in Russian).

About the authors

Alexey I. Doljenko

Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor;

Professor, Department of Information Systems and Applied Computer Science, Rostov State University of Economics, 69, Bolshaya Sadovaya Street, Rostov-on-Don 344002, Russia;

E-mail: doljenkoalex@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8168-3290

Irina Yu. Shpolianskaya

Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor;

Professor, Department of Information Systems and Applied Computer Science, Rostov State University of Economics, 69, Bolshaya Sadovaya Street, Rostov-on-Don 344002, Russia;

E-mail: irinaspol@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-1834-6419

Sergey A. Glushenko

Cand. Sci. (Econ.);

Associate Professor, Department of Information Systems and Applied Computer Science, Rostov State University of Economics, 69, Bolshaya Sadovaya Street, Rostov-on-Don 344002, Russia;

E-mail: gs-gears@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9255-9722

Классификация моделей и описание трендов в вопросах оценки каузальности связей в социально-экономических процессах

Д.М. Назаров

E-mail: slup2005@mail.ru

Уральский государственный экономический университет

Адрес: 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 62

Аннотация

Научное исследование любого социально-экономического и управленческого процесса можно представить как цепочку размышлений о причинах и следствиях возникновения того или иного явления. При этом авторы могут пытаться не только ответить на вопрос «почему?», но и изучить и понять природу причинно-следственных связей, выяснить механизмы их возникновения, а также максимально точно и обоснованно получить ответ на поставленный вопрос. Каждый автор, используя накопленный опыт, предлагает как качественные, так и количественные методы, которые позволяют получить ту или иную оценку каузальности. Однако статей, посвященных комплексному обзору методов и технологий причинно-следственных связей в социально-экономических процессах, явно недостаточно. В данной статье обсуждаются три хорошо известных в социально-экономических науках концептуальных подхода к оценке каузальности: последовательность причин (*successionist causation*), конфигурация причин (*configurational causation*) и генерализация причин (*generative causation*). Автор дает собственную интерпретацию этих подходов, строит графические интерпретации, а также предлагает такие понятия как линейная последовательность факторов, каузальное поле и каузальное пространство факторов в социально-экономических процессах. В рамках этих подходов приводится классификация математических и инструментальных моделей оценок каузальности связей в социально-экономических процессах, а также формулируются тренды развития этих и новых моделей с учетом мирового перехода в цифровой формат. Все эти тренды основаны на применении цифровых технологий в разных форматах и содержат описания таких форматов. Статья содержит конкретные авторские примеры реализации моделей каузальности в научных исследованиях, связанных с экономикой и менеджментом.

Ключевые слова: каузальность; социально-экономический процесс; последовательность причин; конфигурация причин; генерализация причин; каузальное поле; каузальное пространство.

Цитирование: Назаров Д.М. Классификация моделей и описание трендов в вопросах оценки каузальности связей в социально-экономических процессах // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 4. С. 47–61.

DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.47.61

Введение

Вопросы оценки каузальности связей в социально-экономических процессах обсуждаются в многих научных работах. При этом совершенно очевидно, что механизмы возникновения причинно-следственных связей универсальны относительно предмета и объекта исследования. Поэтому изучению причинно-следственных связей («причинности») уделяется огромное внимание во многих науках: философии, психологии, экономике, менеджменте, физике, химии и др. В социально-экономических науках вопросы «причинности» отождествляют с новым термином «каузальность», получающим все большее распространение. Каузальность (лат. *causalis*) — причинность, причинная взаимообусловленность событий во времени [1]. Разнообразие сфер применения понятия каузальности обуславливает многоплановость подходов к его изучению [2–17].

Основой исследовательской практики в сфере поиска каузальности связей в социально-экономических процессах стали экспериментальные и квазиэкспериментальные методы, которые позволили совершить настоящую «революцию достоверности» [2] в области эмпирических социально-экономических исследований. Новые методы и подходы, которые вышли далеко за рамки эконометрического и корреляционно-регрессионного анализа, позволили обеспечить высокое качество получаемых количественных оценок и надежно идентифицировать наличие каузальных, а не просто корреляционных связей. Это позволило весьма точно измерять силу воздействия одних наблюдаемых переменных на другие в рамках рассматриваемых социально-экономических процессов.

Общий смысл экспериментального подхода, в рамках которого зародились новые методы исследования каузальности социально-экономических процессов, достаточно прост. Он заключается в выборе объекта анализа, определении и формализации сущности воздействия (влияния), построении гипотезы исследования, а также в компаративном анализе оценки влияния выбранного воздействия (или отсутствия воздействия) на группы. Важнейшей характеристикой разбиения объектов на две такие группы, — экспериментальную и контрольную, — является рандомизация попаданий объектов в эти группы, которая помогает эффективно решать проблему эндогенности. Оценка разности (неодинаковости) таких воздействий на выбранные

случайным образом группы позволяет получить однозначный ответ на вопрос, является ли выбранное нами воздействие причиной изменения характеристик объектов. Таким образом, правильно выстроенный дизайн экспериментального исследования является залогом успешного изучения каузальности в социально-экономических процессах.

Эффективность исследования каузальности в социально-экономических процессах на основе правильно выстроенного дизайна подтверждена Кристофером Симсом и Томасом Сарджентом — лауреатами Нобелевской премии по экономике за 2011 год, присужденной «за эмпирические исследования причинно-следственных связей в макроэкономике» [13, 14]. Эти ученые разработали методы, позволяющие ответить на вопросы, касающиеся каузальных отношений между экономической политикой и различными макроэкономическими переменными, такими как ВВП, инфляция, безработица и инвестиции.

При оценке каузальности в социально-экономических процессах выделяют в современной науке три основных подхода к изучению причинно-следственных связей.

Подход «последовательность причин» (*successionist causation*) предусматривает исследование и идентификацию жизненно важных элементов каузальности, таких как переменные или методы, описывающие социально-экономические процессы. При этом исследования направлены на наблюдение связи между такими переменными с помощью методов опросов, экспериментов, испытаний и опытов. Объяснение каузальности при этом основано на различиях ассоциативных связей (реальные или ложные, прямые или косвенные), а также оценки силы и значимости этих связей [2, 3, 5, 12–14, 18, 19].

Подход «конфигурация причин» (*configurational causation*) подразумевает изучение социально-экономического процесса на основе сравнения или «компаративного» анализа данных. Это означает, что исследования начинаются с изучения ряда случаев определенного множества социально-экономических процессов или явлений, которые имеют сходство и различия. Цель таких исследований заключается в нахождении каузальности на основе выделения двух совокупностей факторов или параметров, одни из которых приводят к сходству, а другие к различию. Таким образом, каузальность в этом смысле является основой для разбиения изучаемой

совокупности социально-экономических процессов на два кластера. В результате проводимых исследований раскрываются ключевые конфигурации атрибутов, позволяющие объяснить различия в результатах по всему множеству рассматриваемых социально-экономических процессов [18–23].

Подход «генерализация причин» (*generative causation*) также предусматривает начало исследования с изучения измеримых паттернов, описывающих социально-экономические процессы. Однако предполагается, что они вызваны действием некоего глубинного механизма, описывающего человеческие действия, и, в общем случае, не формализуемого в виде совокупности переменных или атрибутов. Каузальность в этом случае сводится к созданию теорий таких механизмов, объясняющих возникновение или отсутствие единообразия (паттернов поведения) [23–28].

Представленные три научных подхода являются основой большинства научных исследований, направленных на выяснение причинно-следственных связей в социально-экономических процессах.

Следует подчеркнуть, что в центре внимания описанных подходов находится некоторый императив — «логика в использовании», а именно — причина, по которой тот или иной подход применяется в первую очередь. Каждый из трех подходов основан на некоторых ключевых организационно-исследовательских принципах, которые порождают соответствующую научную методологию. Такая методология является универсальной и может быть применена в различных областях знаний, включая общественные и исторические науки, чистые науки, а также прикладные науки в макро- и микро-масштабах.

С помощью рассмотренных выше подходов исследователи социально-экономических процессов пытаются решить ряд проблем в оценке каузальности связей между факторами: проблему прямого влияния X на Y , проблему отложенной или ретроспективной причинности, проблему функциональности (детерминированной или вероятностной) каузальности связей и ряд других [2–17].

Цель статьи состоит в том, чтобы рассмотреть классификацию моделей каузальности в рамках трех рассмотренных выше подходов и сформулировать тренды в развитии теорий каузальности применительно к социально-экономическим процессам и явлениям, с учетом развития инструментальных средств и перехода социума в цифровой формат развития.

1. Анализ подходов выявления каузальности в социально-экономических процессах

В широком смысле теория каузальности отвечает на вопрос, связанный с определением истинности утверждения « X порождает Y ». При этом X называют причиной или причинным фактором (или совокупностью факторов), а Y — следствием, откликом или результативным фактором (или совокупностью факторов). Говоря математическим языком, X есть необходимое условие Y , а Y является достаточным условием X (рисунок 1).

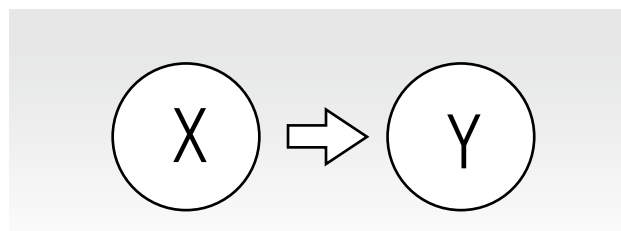


Рис. 1. Граф каузальности факторов социально-экономического процесса

В рамках подхода последовательности причин (*successionist causation*) каузальные связи устанавливаются между переменными, которые объясняют причину в рамках конкретной модели, описывающей социально-экономический процесс. При этом первым шагом является идентификация независимых переменных, которые фиксируют состояние процесса в некоторый момент времени, а также результат (эффект) — зависимую переменную, которую необходимо объяснить. Такие закономерности, ассоциации или корреляции обеспечивают базовое построение блоков в рамках дуализма «причина — следствие». Однако хорошо известно, что корреляция не является причинно-следственной связью. Поэтому в рамках данного подхода необходимо проделать большую работу для выявления причинно-следственной связи, путем анализа данных математическими методами. Выявление последовательности причин позволяет избежать нечеткого вывода о том, что «все вызывает все», и сосредоточиться на поиске действительно значимых влияний. В основном это делается двумя способами.

Первый способ заключается в выделении критических причинно-следственных связей путем манипуляций данными, которые разделяются случайно

на тестовую и контрольную выборки. При этом все, кроме одной, переменные фиксируются, и, таким образом определяется сила влияния этой переменной на результат. Поскольку выборки имеют идентичный состав, единственное влияние на результат может оказать только эта переменная. Таким образом, непосредственное влияние выделенной переменной на результат можно наблюдать и измерять напрямую.

Второй способ выявления каузальности подразумевает аналогичную логику, но контроль результата достигается по-другому. Чтобы проверить правдивость и силу любой конкретной причинно-следственной связи, вводится тестовая переменная, которая проверяется на предмет изменения первоначальной модели влияния. Иначе говоря, проверяется сила влияния этой переменной на результат и исходную переменную.

Таким образом, в рамках первого подхода переменные, описывающие социально-экономический процесс, поясняют полученный результат. Каузальность управляется путем постепенного добавления переменных, сбора данных, создания измерительных инструментов и обеспечения возможностей для обработки экспериментальных данных. При этом оценка каузальности основана на глубоком анализе данных, связанном с поиском эффективных комбинаций массивов переменных, которые наиболее точно описывают социально-экономический процесс.

Подход «конфигурация причин» (*configurational causation*) к выявлению каузальности связей в социально-экономических процессах, по сути, основан на идеях Джона Стюарта Милля, изложенных в книге «Система логики» [12], которые были развиты в работах [20, 21]. С технической точки зрения, это связано с переходом от методологии, основанной на переменных, к методике, основанной на конкретных (частных) случаях, в рамках которой рассматриваются атрибуты или условия. Атрибуты также идентифицируемы посредством сбора данных. Отличие заключается в том, что атрибуты рассматриваются как части социально-экономического процесса, а не как самостоятельные объекты, но, тем не менее, представляют собой независимые переменные. Таким образом, каузальность в этом смысле определяется особой конфигурацией атрибутов в целостной системе. Анализ переменных в рамках первого подхода ориентирован на выявление вклада отдельных причин, а конфигурационный анализ пытается проследить результаты на основе их сочетания (атрибутов). Данный тезис схематично можно изобразить в следующем виде (рисунк 2).

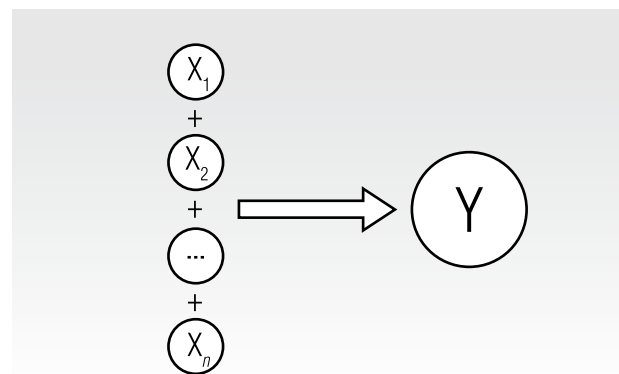


Рис. 2. Граф конфигурационной каузальности факторов социально-экономического процесса

Для того, чтобы пояснить смысл этого графа, приведем пример исследования Мура [29], в котором ранняя индустриализация Британии была обусловлена такими факторами, как слабая аристократия, технологический прогресс, сильный средний класс, перемещение дешевой рабочей силы, наличие колоний и др. Любой из этих факторов сам по себе вряд ли сможет вызвать изменения в промышленном производстве. Однако, вместе взятые, эти факторы дают мощный импульс. Действительно, технологический прогресс не будет масштабировать производство без притока дешевой рабочей силы, которая возможна за счет наличия колоний. Таким образом, знак «+» на рисунке 2 означает наличие некоторого набора атрибутов. Понимая атрибут как совокупность взаимосвязанных переменных, мы получаем первую принципиальную особенность второго подхода. Тогда становится видна ограниченность первого подхода, выявленная нами при рассмотрении исследования, посвященного моделированию процесса вступления России в ВТО [30]. Основная идея конфигурационной причинности заключается в том, что изменение социально-экономического процесса обусловлено взаимосвязью переменных в атрибутах. Отсутствие какой-либо одной переменной в атрибуте не вызывает изменений, следовательно, и сам атрибут не является причиной этого изменения. Именно комбинаторная природа структуры атрибута является ключевой характеристикой каузальной сложности, которая рассматривается в рамках второго подхода. Второй важный момент в понимании смысла конфигурационной причинности состоит в том, что именно сопоставимые явления сравнивают-

ся на предмет поиска каузальности. Например, в примере о ранней индустриализации Британии, компаративный анализ аналогичной структуры атрибутов в промышленно развитых странах того периода (Франции и Германии) дал бы нам ответ на вопрос, почему именно Британия стала лидером индустриализации того времени.

Таким образом, во втором подходе устанавливается новая причинно-следственная логика, значительно отличающаяся от модели первого подхода и имеющая следующие характеристики:

- ◆ конфигурации атрибутов объясняют причину;
- ◆ разнородные конфигурации атрибутов могут привести к одному и тому же результату;
- ◆ аналогичные конфигурации атрибутов могут привести к различным результатам;
- ◆ индивидуальные наборы атрибутов могут способствовать получению противоположных результатов.

В рамках второго подхода была разработана технология выявления причинно-следственных связей, получившая название качественного сравнительного анализа [21, 22]. Данная технология состоит в реализации четырех шагов:

1. Выдвинуть гипотезу и выбрать потенциальные атрибуты, которые могли бы привести к исследуемому результату;
2. Сбор данных (с помощью первичных или вторичных средств) и размещение их в матрице данных;

Упрощение «таблицы истинности» для выявления наиболее значимых причинно-следственных связей. Упрощение включает получение основных причинных конфигураций с использованием аналитических правил, например, следующих: «Если две строки таблицы истинности отличаются только одним атрибутом, но все же приводят к одному и тому же результату, то атрибут, который различает эти два ряда, может быть проигнорирован и исключен из рассмотрения: $Y = X_1.X_2.x_3.x_4$ (1100), $Y = X_1.X_2.x_3.X_4$ (1101)». Здесь «X» (прописная буква) означает код 1 (истина), а «x» (строчная буква) — код 0 (ложь). Такая запись обозначает, что присутствие или отсутствие атрибута номер 4 в таблице истинности x_4 (X_4) не имеет никакого значения для определенного класса ситуаций $Y = X_1.X_2.x_3$, если они находятся в одной таблице истинности;

Выбор основных конфигураций атрибутов и интерпретация результатов.

Подход генеративной (порождающей) причинности (*generative causation*) основан на упорядоченной последовательности применения правил к набору абстрактных символов [1]. Вопросы, связанные с возникновением и развитием этого подхода, имеют философские корни и связаны с понятиями критического реализма [25–28] и генеративного моделирования [30–32]. Ключевым отличием генеративной причинности является исследование причинно-следственных связей на уровне механизма их возникновения и функционирования в социально-экономических процессах (рис. 3).

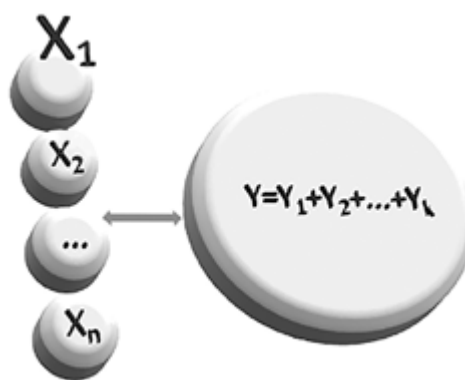


Рис. 3. Граф генеративной каузальности факторов социально-экономического процесса

Первое принципиальное отличие данного подхода заключается в ином представлении результата исследования. При генеративном объяснении цель состоит в том, чтобы объяснить, что вызывает причинно-следственные связи, то есть определить некоторые закономерности связей между атрибутами и результатами в виде ассоциативных правил. Набор таких закономерностей можно рассматривать как возможные паттерны поведения при исследовании социально-экономических процессов. По сути, представление результата также понимается как совокупность атрибутов, а причинная стрелка заменяется на знак «равносильности» (двунаправленную стрелку), который показывает взаимосвязь наборов переменных. Таким образом, в генеративном подходе результаты являются объектом объяснения, поскольку описывают более сложные последовательности, сравнения, тенденции и взаимосвязи.

Второе отличие — «порождающие механизмы» или «лежащие в основе механизмы», которые отражают уникальность подхода и объясняют паттерны результатов. Причинно-следственные связи в этом случае находятся в «механизме действия» каузальности и понимаются как «потенциалы» или «процессы», присущие изучаемой системе. Таким образом, социальные-экономические исследования начинаются с шаблонов результатов и с гипотезы о выборе и аргументации атрибутов.

К третьему отличию относятся контексты, которые необходимы для объяснения типологии результатов. Контексты представляют собой возможные варианты в генеративном объяснении каузальных связей. Контексты — это уже существующие институциональные, организационные и социальные условия, которые задают рамки исследования каузальности в социально-экономическом процессе. Они позволяют выработать инфраструктуру исследования каузальности в социально-экономических процессах.

Описав особенности генеративной причинности, можно концептуально описать поиск каузальности в социально-экономических процессах. Каузальность связей в социально-экономических процессах объясняется тем, что механизм (М), действующий в контексте (С), будет генерировать результат (О). Эти предложения технологии СМО являются отправной точкой и конечным продуктом исследования. Исследование начинается с гипотез, направленных на объяснение паттерна результата, постулируя, как они могут быть объяснены в пределах определенного контекста. Затем проводится эмпирическое исследование для более точной настройки понимания механизма действия в рамках итерационного процесса соотнесения исходных данных и результата.

Таким образом, сравнивая три перечисленных подхода, можно констатировать, что все они являются основой для построения устойчивых информативных каузальных связей социально-экономических процессов и обладают свойством вложенности:

Последовательность причин $\subset$ Конфигурация причин $\subset$ Генерализация причин

Все три подхода подразумевают построение гипотез и интерпретацию модели каузальности связей в социально-экономических процессах.

В рамках первых двух подходов исследователи сосредоточены на поиске и применении адекватных методов и инструментальных средств для того, что-

бы выполнить основные расчеты, которые оценивают силу и качество связи, поскольку именно эти характеристики являются основными для построения механизма каузальности, описание которого дано в третьем подходе. Однако в первых двух подходах исследования не сосредоточены на вопросе о том, почему отдельные частичные каузальности переменных и атрибутов имеют смысл. Это означает, что переменные и атрибуты, а также их взаимосвязи отвечают за установление силы причинно-следственной связи, но не учитывают инфраструктуру и контекст рассматриваемого социально-экономического процесса, хотя именно эти характеристики структурируют происходящее и влияют на качество проведенного исследования. Иначе говоря, первый подход (последовательность причин), который условно можно назвать линейным (одномерная модель), допускает улучшение путем добавления переменных, однако добавление такой «поэлементной» сложности приводит к возрастанию (в экспоненциальном виде) вычислительной и описательной сложности. Второй подход (конфигурация причин) учитывает взаимосвязи между переменными и позволяет представить их в виде атрибутов. Применяя положения этого подхода, можно утверждать, что мы имеем дело с каузальным полем факторов и атрибутов (двухмерная модель). Для улучшения результатов исследований в этом подходе используются дополнительные сравнения, что также приводит к возрастанию сложности модели оценки каузальности связей. В рамках этих двух подходов достаточно сложно получить устойчивые эмпирические обобщения и объяснительную убедительность.

Третий подход (генерализация причин) обладает наиболее полной технологией оценки каузальности связей в социально-экономических процессах, поскольку в нем присутствуют элементы, позволяющие усилить генеративные рассуждения. Однако то, что конфигурации «контекст — механизм — результат» обеспечивают большую гибкость объяснения, чем модели на основе переменных или атрибутов, не означает, что они в каком-то смысле являются окончательными или завершенными. Безусловно, для формирования механизмов каузальности связей требуется более мощный массив данных и комплексные методы оценки. В то же время, присутствие контекста позволяет усилить объяснительную природу каузальности в социально-экономических процессах, а каузальное пространство факторов позволяет с наименьшими потерями перенести построенный механизм из одной области в другую.

Примером генеративной каузальности может служить открытия Нобелевских лауреатов в области экономики, которые строят свои модели, исходя из некоторых причинно-следственных предположений, получая новые и обобщая традиционные экономические законы. Дж. Акерлофф утверждает, что рациональное поведение на различных сегментах рынка должно учитывать определенную степень информационной асимметрии между продавцом и покупателем [34]. Таким образом, для исследования эффективности рыночного поведения (по Парето) предлагается добавить атрибут «информационная асимметрия». При этом результат в таком каузальном пространстве получается многозначным, поскольку атрибут «асимметрия» для различных категорий рыночных агентов по-разному описывает реальную рыночную ситуацию. Генеративная каузальность в этом смысле порождает новую теорию рыночного поведения. Контекстом в данном случае может являться конкретный рынок, на котором рассматривается приведенное выше каузальное пространство факторов: рынок поддержанных автомобилей, страховой и медицинский рынки и другие.

2. Примеры применения подходов к выявлению каузальности социально-экономических процессов

Пример 1. Последовательность причин» (*successionist causation*)

В работе М.С. Юдаевой [30] рассматривается вопрос о каузальной связи между процессом присоединения России к ВТО и последствиями этого присоединения. Последовательная каузальность здесь представляет собой ациклический граф. Автор предлагает с помощью метода рандомизированных вероятностей оценить силу связей в ациклическом графе на конкретном примере — электроэнергетическом секторе экономики России.

В своем исследовании автором применена логика первого подхода. Однако феномен присоединения России к ВТО выходит далеко за рамки выбранных переменных, поэтому полученные оценки влияния можно считать лишь частичными (например, не обнаружено никакого эффекта для других отраслей).

Несмотря на эти недостатки, это исследование настолько точно, насколько мы можем приблизиться к манипулированию процессом присоединения к ВТО, чтобы наблюдать влияние одной переменной (вершины ациклического графа) на другую, когда все

остальные переменные априори считаются неизменными.

Основная логика данного подхода остается неизменной: выдвигаются гипотезы о причинно-следственных связях, собираются данные о наборе подходящих переменных для изучения этой закономерности и, в соответствии с результатами анализа, предполагаемая причина дополнительно разъясняется на конкретном примере.

Пример 2. Конфигурация причин» (*configurational causation*)

Исследования американского ученого Д. Майстера [35] в области каузальности «корпоративная культура — прибыльность предприятия» отражают принципы конфигурационного подхода. На первом этапе автор выделил несколько атрибутов корпоративной культуры, которые определяют финансовую успешность компании: самосовершенствование, лидерство и др. Логика построения каузальных связей представлена на рисунке 4. При этом автор строит каузальное поле и оценивает силу каузальности связей на основании статистической обработки результатов деятельности 139 фирм, в которых работало 5589 человек.

Используя эконометрический аппарат, Д. Майстер доказал, что наибольшее влияние на финансовый успех оказывают два фактора: рост прибыли (0,81) и прибыль на одного работника (0,53). Остальные факторы имеют существенно более низкий уровень влияния (0,27 и 0,24 соответственно). Ограниченность данного исследования заключается в базовом предположении о линейности и независимости влияния факторов.

Итак, применение технологии QCA в рамках конфигурационного подхода на конкретных примерах исследования каузальности корпоративной культуры и основных показателей деятельности предприятия (организации) показали реализацию всех обозначенных выше четырех этапов. Действительно, методы оценки, разрабатываемые авторами, начинаются с определения структуры атрибутов, которые могут способствовать достижению результата на основе здравого смысла, то есть анализа управленческих ситуаций в разных организациях. Затем автор, понимая сложность рассматриваемого явления, сделали попытку, каждый по-своему, объяснить сложное взаимодействие атрибутов и построить различные комбинации, отсортировав их по степени важности. На основе полученных конфигураций

был разработан метод оценки каузальности корпоративной культуры и основных показателей деятельности предприятия (организации).

Пример 3. Генерализация причин» (*generative causation*)

Модель Д. Денисона [36] оценки влияния корпоративной культуры на деятельность предприятия можно отнести к генеративному подходу исследования каузальности связи «корпоративная культура — эффективность деятельности предприятия».

Каждый компонент дуальной связи представляет собой синергетическую сумму нескольких атрибутов. Корпоративная культура включает вовлеченность, согласованность, способность к адаптации и миссию компании. Эффективность деятельности предприятия включает активы и инвестиции, продажи и качество продукции, удовлетворенность работников и уровень инноваций, креативность и клиентоориентированность, рост продаж и увеличение доли рынка [36, 37].

Такая декомпозиция позволяет наиболее полно представить механизм взаимосвязей между корпоративной культурой и эффективностью и содержит явные признаки генеративной причинности, являясь более точным инструментом для определения влияния корпоративной культуры на эффективность деятельности предприятия. По сути, Д. Денисон предложил свое оригинальное каузальное пространство факторов, связывающих показатели деятельности организации с корпоративной культурой, и описал механизм их действия в различных контекстах.

Результатом оценки каузальности связей в модели Д. Денисона можно считать набор ассоциативных связей, порождающих механизм каузальности корпоративной культуры и показателей деятельности организации, связывающий атрибуты (составляющие корпоративной культуры) и результаты (эффективность деятельности предприятия) [36, 37].

3. Математические и инструментальные модели каузальности

Вопросам концептуализации моделей каузальности на начальных этапах развития были посвящены работы достаточно большого количества ученых — философов и психологов.

Дж. Милль [12] обосновал принципы научного познания и разработал ряд концептуальных моделей обнаружения причин и следствий при изучении социально-экономических процессов (и не только). Он

отождествил понимание причины, используя логическую интерпретацию «причина — необходимое и достаточное условие следствия», а также предложил для выявления каузальности использовать модель различий. Суть этой модели заключалась в «просеивании» факторов изучаемых процессов через «сито» критерия, который был связан с оценкой коллинеарности изменения посылки и результата.

Вторая по значимости концептуальная модель каузальности связей была разработана психологом Д. Юмом [38]. Базовой характеристикой этой модели являются ассоциации, которые ученый определил как способности устанавливать связи между ощущениями. Ассоциации структурируют ощущения по параметрам сходства и пространственно-временной протяженности. Д. Юм определил условия возникновения ассоциации причинности следующим образом: причина и следствие должны быть смежны друг с другом во времени и пространстве, причина должна предшествовать следствию, и эта связь должна быть необходимой.

Таким образом, благодаря концептуальным моделям, предложенным в философии и психологии, к основным факторам, влияющим на оценку каузальной структуры процессов и явлений, относят следующие: статистические связи между событиями, временной порядок следования событий друг за другом, изменение естественного течения событий в результате разных событий, априорные представления и установки.

Метрика, оценивающая такие сочетания появления или отсутствия появления событий, может быть определена на основе классической формализации концептуальных моделей — уравнения сопряженности причины и следствия: $\Delta p = p(Y|X) - p(Y|\neg X)$. В этом уравнении степень сопряженности (Δp) определяется как разность (по Дж. Миллю) условных вероятностей следствия Y при присутствии и отсутствии фактора X . Обратим внимание на то, что такая формализация не отражает направление каузальной связи (от причины к следствию), которое является ключевым в оценке каузальности [7, 10, 15, 17]

В математике хорошо известны три теории, связанные с моделированием социально-экономических процессов в условиях неопределенности: теория вероятностей, теория возможностей и теория нечетких множеств.

В качестве фундаментальных экономико-математических моделей каузальности связей между факторами рассматриваются вероятностно-стати-

стические, нечеткие и экспертные методы и модели, подразумевающие, прежде всего, исследования свершения событий в рамках проводимых экспериментов с учетом дизайна экспериментального исследования.

Первая группа моделей связана с корреляционно-регрессионным анализом. В рамках этой группы моделей следует отметить структурные уравнения и диаграммы С. Райта, причинно-следственные модели Неймана–Рубина, функциональные модели Перла, динамические модели Дэвида и различные графовые модели. Так или иначе, во всех этих моделях в качестве меры детерминации применяются разные виды корреляционного анализа и вычисляется коэффициент корреляции. Более подробная информация о таких моделях содержится, например, в работах [5, 9, 39–43].

Вторая группа моделей получила общее название «конфирматорный анализ» [44, 45]. Суть конфирматорного факторного анализа заключается в оценке силы связей некоторой латентной переменной, которая оказывает влияние на результаты и атрибуты. Такой подход, основанный на эконометрическом аппарате исследований зависимостей, позволяет сравнить различные структуры факторов. Методология конфирматорного анализа основана на дедуктивной логике, поэтому этот метод является очень популярным в оценке каузальности связей.

Третья группа моделей базируется на экспертных методах оценки различных параметров социально-экономических процессов на основе анализа и сравнения многокритериальных альтернатив. Сущность матричных экспертных методов состоит в построении матриц, отражающих в разных формах относительную значимость исследуемых альтернатив по заданному пулу признаков. Что касается графовых методов, то они, в первую очередь, предполагают построение какой-либо иерархической (или сетевой) структуры, отражающей взаимные влияния и реализующей маршруты достижения различных целей. Заметим, что предложенное разделение условно, поскольку как в графовых, так и в матричных методах могут быть использованы отдельные элементы и тех, и других одновременно. Говоря об особенностях каждого метода, нельзя не обратить внимание на алгоритмы экспертных оценок, отвечающих на вопрос, как обрабатывается мнение эксперта или группы экспертов. Среди этих алгоритмов можно выделить, по крайней мере, две группы — алгоритмы количественных и качественных оценок. Одним из наиболее распространенных

методов экспертной оценки каузальности связей являются методы, позволяющие оценивать различные коэффициенты причинно-следственных связей между факторами социально-экономических процессов: DEMATEL [45–47], MICMAC [48–51], а также метод обнаружения и оценки влияния имплицитных факторов [39–41].

Метод DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) [45–47] представляет собой один из многих многокритериальных методов принятия решений и подразумевает эффективную идентификацию каузальных связей сложной системы на основе агрегации экспертных оценок. Данный метод агрегирует коллективное экспертное мнение, чтобы исключить случайные отношения между показателями и критериями, а на основе каузальных связей идентифицировать самые важные показатели, определяющие некоторую интегральную характеристику. Метод позволяет определить прямые, обратные и косвенные связи, а также направление взаимозависимости между критериями и показателями.

Метод MICMAC [48] расшифровывается как «Matrix d'Impacts Croises Multiplication Appliquée un Classement», что дословно означает «композиция перекрестной матрицы и классификации». Анализ с помощью данного метода представляет собой процедуру построения классификационной матрицы перекрестного влияния факторов и предназначен для оценки степени зависимости влияния переменных (силы каузальных связей) на основе ранжирования. Каждый из исследуемых факторов относится к одному из четырех кластеров: автономный, зависимый, взаимосвязанный и независимый. Данные факторы (драйверы) сгруппированы на основе определенного потенциала и силы влияния. Автономные факторы (квадрант 1) — это факторы, у которых слабый потенциал и сила влияния. Как правило, они практически незначимы при определении каузальности. Зависимые факторы (квадрант 2) — это факторы, у которых низкий потенциал, но сильное влияние. Взаимосвязанные факторы (квадрант 3) — это факторы, которые имеют высокий потенциал и силу влияния. Эти факторы связаны каузально, то есть действие над одним из них приведет к изменению другого. Независимые факторы (квадрант 4) — это факторы, которые имеют сильный потенциал, но слабое влияние. Все факторы наносятся на график с четырьмя кластерами, где потенциал переменной находится на оси Y, а сила влияния — на оси X.

В работах [39–41, 52] предложен пул экономико-математических моделей, которые позволяют на основе исследования множества факторов управления организацией выделить имплицитные, после чего, на основе аппарата нечеткой логики, используя импликацию по Гогену, оценить степень влияния этих факторов на другие факторы управления. В качестве примера предлагается оценить влияние корпоративной культуры на основные показатели деятельности организации. При этом, с применением нечетких бинарных отношений можно получить каузальное поле факторов, определяющих каузальную связь «корпоративная культура — основные показатели деятельности организации».

4. Основные тренды развития моделей каузальности социально-экономических процессов

Современные цифровые технологии позволяют получать и обрабатывать в режиме реального времени большие объемы данных. Это дает возможность широко использовать арсенал математических теорий и методов, связанных с вероятностной, статистической и экспертной оценкой различных детерминант социально-экономических процессов.

Соответственно, существуют, по крайней мере, три основных тренда, которые позволят совершить «революцию достоверности» в каузальных исследованиях социально-экономических процессов и повысить качество управления ими.

Первый тренд связан с развитием существующих методов на базе агрегации оценок, полученных с помощью технологий обработки больших данных. Данный тренд подразумевает развитие в рамках всех трех подходов оценки каузальности, однако наиболее явно кодифицирует два первых подхода — последовательности причин и конфигурации причин. Действительно, методы интеллектуального анализа данных, во-первых, «не боятся» кратного увеличения переменных в каузальных моделях исследования социально-экономических процессов. Это означает, что с помощью имеющихся инструментальных средств (SAP Analytic Cloud, SAP HANA, Power BI, QlikView, Python, R и др.) исследователь, при наличии данных, может выполнить различные виды проверок разных факторов на каузальность и повысить достоверность результата. Во-вторых, при наличии данных можно построить такие алгоритмы формализации количественных оценок (например,

ранжирования факторов), которые частично или полностью заменят экспертное мнение.

Второй тренд связан с применением интеллектуальных алгоритмов обработки данных, которые можно настроить на «измерение» каузальности полей и пространств факторов. Этот тренд позволит существенно формализовать подход генерализации причин и сделать его доступным для большинства исследователей. Заметим, что генерализация причин подразумевает построение ассоциаций и классификаций (по Д. Юму и Дж. Миллю). В рамках существующих алгоритмов хотелось бы обратить внимание на два основных метода — алгоритм построения байесовских сетей и алгоритм Априори, которые на основе специально подготовленных наборов данных позволяют построить ассоциативные правила, характеризующие поведенческие характеристики людей — участников социально-экономических процессов.

За последние двадцать лет байесовские сети стали одним из базовых инструментов формализации неопределенностей в искусственном интеллекте. Байесовские сети не только обеспечивают естественный и компактный способ кодирования факторов экспоненциального размера в каузальном пространстве, но и позволяют получить эффективный вероятностный вывод в режиме реального времени [53–56]. Важно, что байесовские сети являются ориентированными ациклическими графами, где узлы представляют собой случайные величины, а ребра — условные зависимости между случайными величинами, распределенными либо дискретно, либо непрерывно. Поскольку большинство структурно-функциональных моделей социально-экономических процессов представлены в виде различных иерархий, то есть ациклических графов, байесовские сети идеально подходят для выявления каузальности связей в них.

Алгоритм Априори [56] и его модификации позволяют формализовать так называемые рекомендательные системы, в рамках которых на основе данных строятся ассоциативные правила в виде импликаций «если — то». Различные срезы данных и наборы переменных позволяют установить каузальность связей в различных контекстах исследования социально-экономических процессов. Сущность алгоритма позволяет резко сократить размерность данных, а его настройки и быстрота действия в режиме реального времени — осуществить достаточно большое число экспериментов.

Третий тренд связан с алгоритмами и методами машинного обучения. Благодаря гибкости настроек и инструментальной поддержке, эти алгоритмы позволяют в рамках любого из рассмотренных выше подходов разработать новые, не известные на сегодняшний день методы и технологии оценки каузальных связей в социально-экономических процессах.

Заключение

В рамках проведенного теоретико-методологического исследования была предпринята попытка в рамках общепринятых подходов изучения каузальности социально-экономических процессов в мировой науке построить их модели, исходя из глубокого анализа контента по этой проблеме. Следует отметить, что в российской науке явно недостаточно публикаций, использующих три основных подхода к изучению причинно-следственных связей, к которым относятся «последовательность причин» (successionist causation), «конфигурация причин» (configurational causation)

и «генерализация причин» (generative causation). Цифровой формат развития социально-экономических процессов позволяет от концептуализации каузальности перейти непосредственно к прикладному использованию накопленного опыта и знаний в этой сфере, используя современный инструментарий анализа больших данных. Такой подход позволит более точно выявлять причинно-следственные связи социальных процессов и получать больший эффект от исследований в этом направлении. Универсальность рассмотренных методов и моделей гарантирует успешное применение программного обеспечения для развития исследований в области построения прикладных цифровых моделей каузальности социально-экономических процессов. ■

Благодарности

Статья выполнена при поддержке РФФИ, в рамках гранта РФФИ конкурса «Экспансия–2019» № 19-110-50281.

Литература

1. Философский энциклопедический словарь. 2-е изд. / Под ред. Л.Ф. Ильичева, П.Н. Федосеева, С.М. Ковалева, В.Г. Панова. М.: Советская энциклопедия, 1989.
2. Angrist J.D., Pischke J.-S. The credibility revolution in empirical economics: How better research design is taking the con out of econometrics // Journal of Economic Perspectives. 2010. Vol. 24. No 2. P. 3–30. DOI: 10.1257/jep.24.2.3.
3. Almond D., Mazumder B. Health capital and the prenatal environment: The effect of Ramadan observance during pregnancy // American Economic Journal: Applied Economics. 2011. Vol. 3. No 4. P. 56–85. DOI: 10.1257/app.3.4.56.
4. Asher H.B. Voting behavior research in the 1980s: An examination of some old and new problem areas // Political science: The state of the discipline / Ed. A.W. Finifter. Washington DC: American Political Science Association. 1983. P. 339–388.
5. Dawid A.P. The decision-theoretic approach to causal inference // Causality: Statistical perspectives and applications (eds. C.R. Berzuini, A.P. Dawid, L. Bernardinelli). Chapter 4. Wiley and Sons, 2012. P. 25–42. DOI: 10.1002/9781119945710.ch4.
6. Glymour C.N. The mind's arrows: Bayes nets and graphical causal models in psychology. Cambridge, MA: MIT Press, 2001.
7. Mackie J.L. The cement of the universe: A study of causation. Oxford, England: Clarendon Press, 1974.
8. Murphy G.L. The big book of concepts. Cambridge, MA: MIT Press, 2004.
9. Pearl J. Causality models, reasoning, and inference. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
10. Rescorla R.A., Wagner A.R. A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and non-reinforcement // Classical conditioning II: Current research and theory / Eds. A.H. Black, W.F. Prokasy. New York: Appleton-Century-Crofts, 1972. P. 64–99.
11. Hair trapping with valerian-treated lure sticks as a tool for genetic wildcat monitoring in low-density habitats / K. Steyer [et al.] // European Journal of Wildlife Research. 2013. No 59. P. 39–46. DOI: 10.1007/s10344-012-0644-0.
12. Mill J.S. A system of logic. Honolulu: University Press of the Pacific, 2002.
13. Sargent T.J. A note on maximum likelihood estimation of the rational expectations model of the term structure // Journal of Monetary Economics. 1979. No 5. P. 133–143.
14. Sims C. Money, income and causality // American Economic Review. 1972. Vol. 62. No 4. P. 540–552.
15. Suppes P. A probabilistic theory of causality // British Journal for the Philosophy of Science. 1973. Vol. 24. No 4. P. 409–410.
16. Salmon W. Scientific explanation and the causal structure of the world. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1984.
17. Woodward J. Making things happen: A theory of causal explanation. Oxford: Oxford University Press, 2003.
18. Campbell D., Stanley J. Experimental and quasi-experimental designs for research. Chicago: Rand McNally, 1963.
19. Moore B. Social origins of dictatorship and democracy. Boston: Beacon Press, 1966.
20. Skocpol T. (ed.) Vision and method in historical sociology. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
21. Ragin C. The comparative method. Berkeley: University of California Press, 1987.

22. Ragin C. Constructing social research. Thousand Oaks: Pine Forge Press, 1994.
23. Abbott A. The causal devolution // Sociological Methods and Research. 1998. Vol. 27. No 2. P. 148–181.
24. Archer M. Realist social theory. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
25. Bhaskar R. A realist theory of science. Hassocks: Harvester Press, 1978.
26. Critical realism: Essential readings / R. Bhaskar [et al.]. London: Routledge, 1988.
27. Blalock H. Causal inferences in non-experimental research. Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1961.
28. Pawson R. A measure for measures: A manifesto for empirical sociology. London: Routledge, 1989.
29. Moore B. Social origins of dictatorship and democracy. Boston: Beacon Press, 1966.
30. Горбань М.И., Гуриев С.М., Юдаева К.В. Россия в ВТО: мифы и реальность // Вопросы экономики. 2002. № 2. С. 61–82.
31. Boudon R. Tocqueville for today. Oxford: Bardwell Press, 2006.
32. Elster J. Nuts and bolts for the social sciences. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
33. Fararo T. The meaning of general theoretical sociology: Tradition and formalization. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
34. Akerlof G.A. The market for “lemons”: Quality uncertainty and the market mechanism // Quarterly Journal of Economics. 1970. No 84. P. 488–500.
35. Maister D.H. Practice what you preach: What managers must do to create a high achievement culture. New York: Free Press, 2001.
36. Denison D., Hooijberg R., Lane N., Lief C. Leading culture change in global organizations: Aligning culture and strategy. San Francisco, CA: Jossey-Bass, 2012.
37. Culture getting started guide / Denison Consulting, 2009. [Электронный ресурс]: <http://staff.studentlife.umich.edu/files/dsa/Getting+Started+Guide.pdf> (дата обращения: 24.05.2020).
38. Юм Д. Трактат о человеческой природе / Сочинения в 2-х тт. Т. 2. М.: Мысль, 1965.
39. Nazarov D.M. Fuzzy model for assessment of causality of factors in collaborative economy // Proceedings of the 2017 IEEE 19th Conference on Business Informatics (CBI 2017). Thessaloniki, Greece, 24–27 July 2017. Vol. 2. P. 28–31. DOI: 10.1109/CBI.2017.4.
40. Nazarov D.M. The fuzzy logic methodology for evaluating the causality of factors in organization management / Open access peer-reviewed chapter, 2019 [Электронный ресурс]: <https://www.intechopen.com/books/fuzzy-logic/the-fuzzy-logic-methodology-for-evaluating-the-causality-of-factors-in-organization-management> (дата обращения 01.07.2020). DOI: 10.5772/intechopen.84814.
41. Назаров Д.М. Методология нечетко-множественной оценки имплицитных факторов в деятельности организации. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2016.
42. Wright S. Correlation and causation // Journal of Agricultural Research. 1921. No 20. P. 557–585.
43. Rubin D.B. Bayesian inference for causal effects: The role of randomization // Annals of Statistics. 1978. Vol. 6. No 1. P. 34–58.
44. Hair J.F., Hult G.T.M., Ringle C.M., Sarstedt M. A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS–SEM). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2017.
45. Jassbi J., Mohamadnejad F., Nasrollahzadeh H. A fuzzy DEMATEL framework for modeling cause and effect relationships of strategy map // Expert Systems with Applications. 2011. Vol. 38. No 5. P. 5967–5973. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.11.026.
46. Chen F.H., Chi D.-J. Application of a new DEMATEL to explore key factors of China’s corporate social responsibility: Evidence from accounting experts // Quality & Quantity. 2015. Vol. 49. No 1. P. 135–154. DOI: 10.1007/s11335-013-9978-2.
47. Wu H.-H., Chang S.-Y. A case study of using DEMATEL method to identify critical factors in green supply chain management // Applied Mathematics and Computation. 2015. Vol. 256. P. 394–403. DOI: 10.1016/j.amc.2015.01.041.
48. Khanam S., Siddiqui J., Talib F. Modeling the TQM enablers and IT resources in the ICT industry: An ISM-MICMAC approach // International Journal of Information Systems and Management. 2016. Vol. 1. No 3. P. 195–218. DOI: 10.1504/IJISAM.2015.072290.
49. Mudgal R., Shankar R., Talib P., Raj T. Greening the supply chain practices: An Indian perspective of enablers’ relationship. International Journal of Advanced Operations Management. 2009. Vol. 1. No 2–3. P. 151–176. DOI: 10.1504/IJAOM.2009.030671.
50. Poduval P.S., Pramod V., Raj J. Interpretive structural modeling (ISM) and its application in analyzing factors inhibiting implementation of total productive maintenance (TPM) // International Journal of Quality & Reliability Management. 2015. Vol. 32. No 3. P. 308–331. DOI: 10.1108/IJQRM-06-2013-0090.
51. Raj T.; Shankar R.; Suhaib M. An ISM approach for modelling the enablers of flexible manufacturing system: The case for India // International Journal of Production Research. 2008. Vol. 46. No 24. P. 6883–6912. DOI: 10.1080/00207540701429926.
52. Назаров Д.М. Теоретические и методические основы нечетко-множественной оценки имплицитных факторов управления организацией. Автореферат дис. ... доктора экономических наук. СПб, 2016.
53. Russell S., Norvig P. Artificial intelligence: A modern approach. Prentice Hall, 1995.
54. Suwignjo P., Bititci U.S., Carrie A.S. Quantitative models for performance measurement system // International Journal of Production Economics. 2000. Vol. 64. No 1–3. P. 231–241. DOI: 10.1016/S0925-5273(99)00061-4.
55. Tian J. Identifying direct causal effects in linear models // Proceedings of the 20th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI–05). Pittsburgh, Pennsylvania, 9–13 July 2005. Vol. 1. P. 346–352.
56. Agrawal R., Srikant R. Fast algorithms for mining association rules in large databases // Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases, Santiago, Chile, 12–15 September 1994, pp. 487–499.

Об авторе

Назаров Дмитрий Михайлович

доктор экономических наук;

заведующий кафедрой бизнес-информатики, институт менеджмента и информационных технологий, Уральский государственный экономический университет, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 62;

E-mail: slup2005@mail.ru

Classification of models and description of trends in assessing the causality of relationships in socio-economic processes

Dmitry M. Nazarov

E-mail: slup2005@mail.ru

Ural State University of Economics

Address: 62, 8 Marta Street, Yekaterinburg 620144, Russia

Abstract

Scientific research of any socio-economic and managerial process can be represented as a chain of reflections on the causes and consequences of this or that phenomenon's occurrence. At the same time, the authors can try not only to answer the question "why?" but also to study and understand the nature of cause-and-effect relationships, to find out the mechanisms of their occurrence, and also to get the answer to the question posed as accurately and reasonably as possible. Each author, using the accumulated experience, offers both qualitative and quantitative methods that allow him to obtain one or another assessment of causality. However, there are not enough articles devoted to a comprehensive review of the methods and technologies of cause-and-effect relationships in socio-economic processes. This article discusses three well-known conceptual approaches to the assessment of causation in socio-economic sciences: successionist causation, configurational causation and generative causation. The author gives his own interpretation of these approaches, builds graphic interpretations, and also offers such concepts as a linear sequence of factors, the causal field, and the causal space of factors in socio-economic processes. Within the framework of these approaches, a classification of mathematical and instrumental models for assessing the causality of relationships in socio-economic processes is given, and trends in the development of these and new models are formulated, taking into account the global transition to a digital format. All of these trends are based on the use of digital technologies in different formats and include descriptions of such formats. The article contains specific author's examples of causality model implementation in scientific research related to economics and management.

Key words: causality; socio-economic process; sequence of reasons; configuration of reasons; generalization of reasons; causal field; causal space.

Citation: Nazarov D.M. (2020) Classification of models and description of trends in assessing the causality of relationships in socio-economic processes. *Business Informatics*, vol. 14, no 4, pp. 47–61. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.47.61

References

1. Ilyichev L.F., Fedoseev P.N., Kovalev S.M., Panov V.G., eds. (1989) *Philosophical encyclopedic dictionary*. 2-nd ed. Moscow: Soviet Encyclopedia (in Russian).
2. Angrist J.D., Pischke J.-S. (2010) The credibility revolution in empirical economics: How better research design is taking the con out of econometrics. *Journal of Economic Perspectives*, vol. 24, no 2, pp. 3–30. DOI: 10.1257/jep.24.2.3.

3. Almond D., Mazumder B. (2011) *Health capital and the prenatal environment: The effect of Ramadan observance during pregnancy*. *American Economic Journal: Applied Economics*, vol. 3, no 4, pp. 56–85. DOI: 10.1257/app.3.4.56.
4. Asher H.B. (1983) Voting behavior research in the 1980s: An examination of some old and new problem areas. *Political science: The state of the discipline* (ed. A.W. Finifter). Washington DC: American Political Science Association, pp. 339–388.
5. Dawid A.P. (2012) The decision-theoretic approach to causal inference. *Causality: Statistical perspectives and applications* (eds. C.R. Berzuini, A.P. Dawid, L. Bernardinelli), chapter 4. Wiley and Sons, pp. 25–42. DOI: 10.1002/9781119945710.ch4.
6. Glymour C.N. (2001) *The mind's arrows: Bayes nets and graphical causal models in psychology*. Cambridge, MA: MIT Press.
7. Mackie J.L. (1974) *The cement of the universe: A study of causation*. Oxford, England: Clarendon Press.
8. Murphy G.L. (2004) *The big book of concepts*. Cambridge, MA: MIT Press.
9. Pearl J. (2009) *Causality models, reasoning, and inference*. Cambridge: Cambridge University Press.
10. Rescorla R.A., Wagner A.R. (1972) A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and non-reinforcement. *Classical conditioning II: Current research and theory* (eds. A.H. Black, W.F. Prokasy). New York: Appleton-Century-Crofts, pp. 64–99.
11. Steyer K., Simon O., Kraus R.H.S., Haase P., Nowak C. (2013) Hair trapping with valerian-treated lure sticks as a tool for genetic wildcat monitoring in low-density habitats. *European Journal of Wildlife Research*, no 59, pp. 39–46. DOI: 10.1007/s10344-012-0644-0.
12. Mill J.S. (2002) *A system of logic*. Honolulu: University Press of the Pacific.
13. Sargent T.J. (1979) A note on maximum likelihood estimation of the rational expectations model of the term structure. *Journal of Monetary Economics*, no 5, pp. 133–143.
14. Sims C. (1972) Money, income and causality. *American Economic Review*, vol. 62, no 4, pp. 540–552.
15. Suppes P. (1973) A probabilistic theory of causality. *British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 24, no 4, pp. 409–410.
16. Salmon W. (1984) *Scientific explanation and the causal structure of the world*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
17. Woodward J. (2003) *Making things happen: A theory of causal explanation*. Oxford: Oxford University Press.
18. Campbell D., Stanley J. (1963) *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Chicago: Rand McNally.
19. Moore B. (1966) *Social origins of dictatorship and democracy*. Boston: Beacon Press.
20. Skocpol T., ed. (1984) *Vision and method in historical sociology*. Cambridge: Cambridge University Press.
21. Ragin C. (1987) *The comparative method*. Berkeley: University of California Press.
22. Ragin C. (1994) *Constructing social research*. Thousand Oaks: Pine Forge Press.
23. Abbott A. (1998) The causal devolution. *Sociological Methods and Research*, vol. 27, no 2, pp. 148–181.
24. Archer M. (1995) *Realist social theory*. Cambridge: Cambridge University Press.
25. Bhaskar R. (1978) *A realist theory of science*. Hassocks: Harvester Press.
26. Bhaskar R., Archer M., Collier A., Lawson T., Norrie A. (1988) *Critical realism: Essential readings*. London: Routledge.
27. Blalock H. (1961) *Causal inferences in non-experimental research*. Chapel Hill: University of North Carolina Press.
28. Pawson R. (1989) *A measure for measures: A manifesto for empirical sociology*. London: Routledge.
29. Moore B. (1966) *Social origins of dictatorship and democracy*. Boston: Beacon Press.
30. Gorban M.I., Guriev S.M., Yudaeva K.V. (2002) Russia in the WTO: myths and reality. *Voprosy Ekonomiki*, no 2, pp. 61–82 (in Russian).
31. Boudon R. (2006) *Tocqueville for today*. Oxford: Bardwell Press.
32. Elster J. (1989) *Nuts and bolts for the social sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
33. Fararo T. (1989) *The meaning of general theoretical sociology: Tradition and formalization*. Cambridge: Cambridge University Press.
34. Akerlof G.A. (1970) The market for “lemons”: Quality uncertainty and the market mechanism. *Quarterly Journal of Economics*, no 84, pp. 488–500.
35. Maister D.H. (2001) *Practice what you preach: What managers must do to create a high achievement culture*. New York: Free Press.
36. Denison D., Hooijberg R., Lane N., Lief C. (2012) *Leading culture change in global organizations: Aligning culture and strategy*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
37. Denison Consulting (2009) *Culture getting started guide*. Available at: <http://staff.studentlife.umich.edu/files/dsa/Getting+Started+Guide.pdf> (accessed 24 May 2020).
38. Hume D. (1965) *A treatise on human nature*. Essays in 2 vols. Vol. 2. Moscow: Myisl (in Russian).
39. Nazarov D.M. (2017) Fuzzy model for assessment of causality of factors in collaborative economy. *Proceedings of the 2017 IEEE 19th Conference on Business Informatics (CBI 2017), Thessaloniki, Greece, 24–27 July 2017*, vol. 2, pp. 28–31. DOI: 10.1109/CBI.2017.4.
40. Nazarov D.M. (2019) *The fuzzy logic methodology for evaluating the causality of factors in organization management*. Open access peer-reviewed chapter. Available at: <https://www.intechopen.com/books/fuzzy-logic/the-fuzzy-logic-methodology-for-evaluating-the-causality-of-factors-in-organization-management> (accessed 01 July 2020). DOI: 10.5772/intechopen.84814.
41. Nazarov D.M. (2016) *Methodology for fuzzy-multiple assessment of implicit factors in the organization's activities*. Ekaterinburg: USUE (in Russian).
42. Wright S. (1921) Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*, no 20, pp. 557–585.
43. Rubin D.B. (1978) Bayesian inference for causal effects: The role of randomization. *Annals of Statistics*, vol. 6, no 1, pp. 34–58.

44. Hair J.F., Hult G.T.M., Ringle C.M., Sarstedt M. (2017) *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS–SEM)*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
45. Jassbi J., Mohamadnejad F., Nasrollahzadeh H. (2011) A fuzzy DEMATEL framework for modeling cause and effect relationships of strategy map. *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no 5, pp. 5967–5973. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.11.026.
46. Chen F.H., Chi D.-J. (2015) Application of a new DEMATEL to explore key factors of China's corporate social responsibility: Evidence from accounting experts. *Quality & Quantity*, vol. 49, no 1, pp. 135–154. DOI: 10.1007/s11135-013-9978-2.
47. Wu H.-H., Chang S.-Y. (2015) A case study of using DEMATEL method to identify critical factors in green supply chain management. *Applied Mathematics and Computation*, vol. 256, pp. 394–403. DOI: 10.1016/j.amc.2015.01.041.
48. Khanam S., Siddiqui J., Talib F. (2016) Modeling the TQM enablers and IT resources in the ICT industry: An ISM-MICMAC approach. *International Journal of Information Systems and Management*, vol. 1, no 3, pp. 195–218. DOI: 10.1504/IJISAM.2015.072290.
49. Mudgal R., Shankar R., Talib P., Raj T. (2009) Greening the supply chain practices: An Indian perspective of enablers' relationship. *International Journal of Advanced Operations Management*, vol. 1, no 2–3, pp. 151–176. DOI: 10.1504/IJAOM.2009.030671.
50. Poduval P.S., Pramod V., Raj J. (2015) Interpretive structural modeling (ISM) and its application in analyzing factors inhibiting implementation of total productive maintenance (TPM). *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 32, no 3, pp. 308–331. DOI: 10.1108/IJQRM-06-2013-0090.
51. Raj T.; Shankar R.; Suhaib M. (2008) An ISM approach for modelling the enablers of flexible manufacturing system: The case for India. *International Journal of Production Research*, vol. 46, no 24, pp. 6883–6912. DOI: 10.1080/00207540701429926.
52. Nazarov D.M. (2016) *Theoretical and methodological foundations of fuzzy-multiple assessment of implicit factors of organization management*. Doctoral thesis. Saint-Petersburg (in Russian).
53. Russell S., Norvig P. (1995) *Artificial intelligence: A modern approach*. Prentice Hall.
54. Suwignjo P., Bititci U.S., Carrie A.S. (2000) Quantitative models for performance measurement system. *International Journal of Production Economics*, vol. 64, no 1–3, pp. 231–241. DOI: 10.1016/S0925-5273(99)00061-4.
55. Tian J. (2005) Identifying direct causal effects in linear models. Proceedings of the *20th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI–05)*, Pittsburgh, Pennsylvania, 9–13 July 2005, vol. 1, pp. 346–352.
56. Agrawal R., Srikant R. (1994) Fast algorithms for mining association rules in large databases. Proceedings of the *20th International Conference on Very Large Data Bases, Santiago, Chile, 12–15 September 1994*, pp. 487–499.

About the author

Dmitry M. Nazarov

Dr. Sci. (Econ.);

Head of the Department of Business Informatics, Institute of Management and Information Technologies, Ural State University of Economics, 62, 8 Marta Street, Yekaterinburg 620144, Russia;

E-mail: slup2005@mail.ru

Построение индикатора неопределенности по отношению к корректировке денежно-кредитной политики Банка России на основе новостных источников

Е.А. Голованова 

E-mail: golovanova-ea@ranepa.ru

А.В. Зубарев 

E-mail: zubarev@ranepa.ru

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ

Адрес: 119571, г. Москва, проспект Вернадского, д. 82, стр. 1

Аннотация

Анализ текстов с помощью методов машинного обучения может применяться для изучения экспертного отношения к политике Банка России. Для достижения своих целей коммуникационная политика банка должна вызывать доверие. Литература в этой области не столь обширна по сравнению с работами, посвященными изучению традиционных инструментов денежно-кредитной политики. Целью данного исследования является анализ восприятия неопределенности в отношении политики Банка России экономическими агентами. Для этого строится индикатор неопределенности на основе новостей из интернета и анализа текстов. Полученная динамика индикатора отражает неожиданные заявления Банка России, а также события, влияющие на денежно-кредитную политику. Опираясь на модели из финансовой теории, связывающие монетарную политику и цены акций, мы рассмотрели влияние индикатора неопределенности на индексы ММВБ и РТС. В рамках построения моделей GARCH для данных российских финансовых рядов было обнаружено, что построенный индикатор неопределенности оказывает значимое влияние на вариацию обоих индексов на двухнедельных данных, причем наибольший вклад он вносит в динамику дисперсии РТС. Полученный индикатор неопределенности также может быть использован для прогнозов иных макроэкономических показателей.

Ключевые слова: неопределенность; Банк России; новостные источники; анализ данных; машинное обучение; облако слов; фондовый индекс.

Цитирование: Голованова Е.А., Зубарев А.В. Построение индикатора неопределенности по отношению к корректировке денежно-кредитной политики Банка России на основе новостных источников // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 4. С. 62–75. DOI: [10.17323/2587-814X.2020.4.62.75](https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.4.62.75)

Введение

Ожидания экономических агентов, с одной стороны, являются одним из ориентиров политики центральных банков, с другой стороны, могут влиять на эффективность этой политики. Такие ожидания можно проследить по мнениям экспертов относительно политики центрального банка, публикуемых в средствах массовой информации. Новости могут отражать восприятие экономическими агентами тех или иных мер политики центральных банков, а также оказывать влияние на это восприятие [1, 2]. В данном исследовании мы пытаемся квантифицировать такие ожидания.

Использование методов машинного обучения для обработки текстов позволяет обрабатывать большие объемы информации, значительно упрощает их анализ и позволяет получить прозрачные и интерпретируемые результаты в некотором агрегированном виде. На сегодняшний день широкое применение подхода к анализу новостей с использованием методов машинного обучения можно обнаружить в самых разных сферах. Машинное обучение при анализе текстов новостных источников применяется для предсказания победы на выборах кандидатов [3] и обнаружения фейковых новостей [4]. Анализ комментариев из финансовых микроблогов и Твиттера применяется для прогнозирования волатильности ценных бумаг [5]. Туристическая сфера, где требуется постоянное улучшение сервиса (например, ресторанный и отельный бизнес), активно использует анализ комментариев и отзывов о своих заведениях на сайтах [6, 7].

Анализ текстов новостных источников может быть полезен в контексте рассмотрения исследований, где анализируется политика, проводимая центральными банками. Блайндер и др. [8] показали в своей работе, что коммуникационная политика центрального банка является мощным инструментом, так как она способна улучшать предсказуемость денежно-кредитной политики и имеет потенциал для достижения макроэкономических целей, таких как низкая и стабильная инфляция.

С помощью обработки информации из новостных источников методами машинного обучения можно оценить уровень неопределенности в ожиданиях экономических агентов в каждый момент

времени. Например, неопределенность в макроэкономических новостях может оказывать негативное влияние на финансовые рынки [1, 2]. Однако существуют эмпирические свидетельства в пользу того, что в некоторых странах монетарные власти, наоборот, реагируют на настроения инвесторов. Например, в исследовании [9] говорится, что Резервный банк Австралии снижает процентную ставку в ответ на высокую неопределенность у экспертов из The Shadow Board¹.

Хансен и Макмахон [10] исследовали, как новости, выпущенные федеральным комитетом по операциям на открытом рынке, влияют на рыночные и реальные экономические переменные. В исследовании было рассмотрено 76 макроэкономических переменных. В рамках моделей FAVAR авторы обнаружили, что неожиданные заявления ФРС по управлению будущими процентными ставками более важны, чем отчеты ФРС о текущих экономических условиях, с точки зрения их влияния как на рынок, так и на некоторые рыночные переменные, такие как биржевые индексы, а также на такие переменные, как безработица и индекс потребительских цен.

Цислак и Шримпф [11] количественно оценили важность неденежных новостей в отчетах центральных банков. Авторы обнаружили существенные различия в составе новостей в зависимости от канала связи, используемого центральными банками. По их оценкам, неденежные новости преобладают примерно в 40% заявлений ФРС и ЕЦБ, и эта доля особенно высока в контексте новостей с пресс-конференций.

Несмотря на то, что коммуникация центрального банка становится неотъемлемым компонентом набора инструментов для проведения денежно-кредитной политики, спектр литературы по этой теме все еще достаточно ограничен по сравнению с другими инструментами макроэкономической политики. Целью данного исследования является описание восприятия экономическими агентами неопределенности в отношении политики Банка России и анализ его влияния на показатели финансового рынка. Для достижения поставленной цели строится индикатор неопределенности по отношению к политике Банка России на основании новостей из интернета и осуществляется проверка гипотезы о значимости индикатора для объяснения волатильности доходностей фондовых индексов Московской биржи.

¹ The Shadow Board объединяет профессиональных макроэкономистов, которые дают рекомендации по изменению процентных ставок за неделю до каждого заседания Резервного Банка

1. Построение индикатора неопределенности

В работе использовались данные из новостных источников, являющихся передовыми российскими СМИ, пишущими про экономику: РБК, Газета.Ru, Финмаркет, ТАСС и Коммерсант. Данные охватывают период с 01.01.2014 по 31.05.2020. В качестве запросов в поиске по архивам применялись следующие слова и словосочетания: «Банк России», «Набиуллина», «ЦБ РФ». Данные запросы формировались на основе их популярности и непосредственного отношения к Банку России. Для источника ТАСС не удалось выполнить поиск по архивам, но был произведен поиск по заголовкам. Соответственно, список ключевых слов был расширен следующими словами: «центробанк», «курс рубля», «Юдаева», «Скоробогатова», «Тулин», «Швецов», «зампред ЦБ», «центральный банк». Поиск по заголовкам производился только для тем «политика» и «экономика». В результате обработки всех источников было скачано 22156 статей. На рисунке 1 изображена динамика количества всех новостей по месяцам.

На рисунке 2 приведена диаграмма, показывающая количество статей в каждом источнике. Лидирующую позицию занимает РБК, а самую низкую — ТАСС. Данные по источникам явно распределены неравномерно, что будет учтено при построении индикатора неопределенности.

Для построения индикатора неопределенности необходимо узнать, какие тематики содержатся в собранном массиве текстов, чтобы среди них выделить ту, которая непосредственно относится

к экономической политике центрального банка. Перед этим данные нуждаются в предварительной обработке. Для начала необходимо разбить каждый текст на список слов и символов (токенизация). Затем, во избежание путаницы, нужно привести все слова к нижнему регистру, чтобы «ЦБ» и «цб» не считались разными словами. Также для понижения разнообразия слов требуется провести лемматизацию: все существительные приводятся к именительному падежу и единственному числу, все прилагательные приводятся к мужскому роду и единственному числу, глаголы принимают форму инфинитива и так далее. Для этих целей был использован пакет `rumorphy` на Python 3. Знаки пунктуации и цифры были удалены из общего массива, так как без контекста они не дают возможности извлечь какую-либо информацию о тексте. Также из списка слов были исключены союзы, предлоги и частицы, которые довольно часто встречаются в тексте, но не несут в себе никакой информации. При такой обработке текстов предполагается, что порядок слов в тексте не меняет его окраски. Такой способ называется «мешок слов». Теперь каждый текст — это вектор, показывающий, сколько раз каждое слово из словаря в нем встречается. Полученное число уникальных слов равно 269611. Однако в этом списке будут находиться слова, которые встречаются в тексте всего один раз, или, наоборот, слишком часто. Поэтому была произведена фильтрация редких и часто встречающихся слов, с предположением, что слово должно встречаться в каждом из текстов более трех раз, но не чаще, чем в 40% текстов. Полученное число уникальных слов после проведенной фильтрации составило 52073.

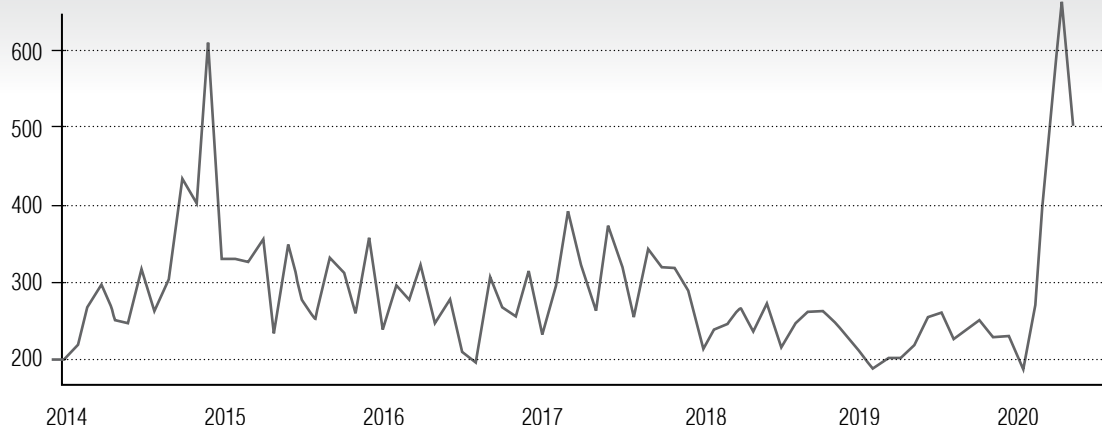


Рис. 1. Динамика новостей по запросам за каждый месяц

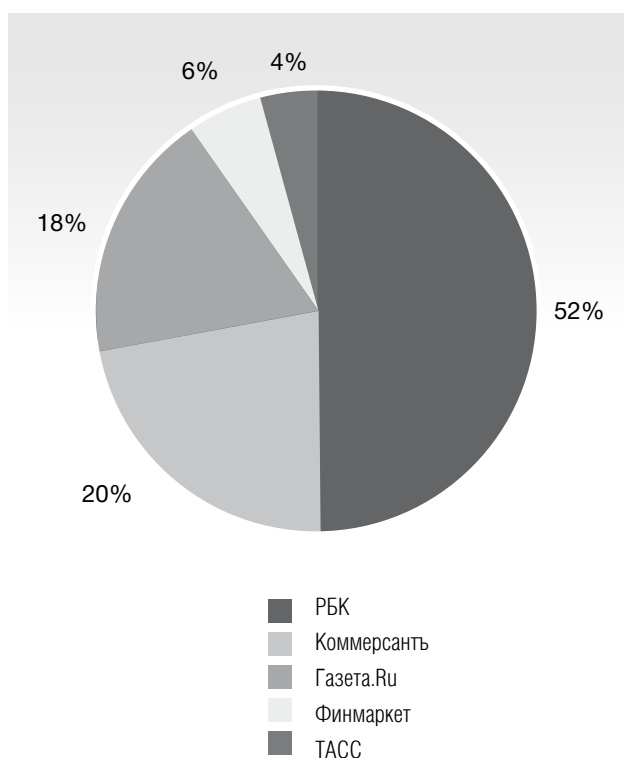


Рис. 2. Количество статей из каждого источника

Теперь полученный список слов можно разбить на тематические списки, чтобы впоследствии по облакам слов определить, какие вопросы рассматриваются в статьях по выбранным нами запросам. Стоит отметить, что у каждого текста из общего корпуса может быть несколько тем, несмотря на то, что они были скачаны по запросам из одних и тех же ключевых слов. Таким образом, будет некорректно относить каждый текст к одной конкретной теме, нужно использовать иной подход.

Для выявления тем, встречающихся в текстах, была построена иерархическая байесовская модель. На первом уровне был задан априорный параметр, определяющий число тем в разбиении (T), а на втором уровне — мультиномиальная² переменная с априорным распределением Дирихле, определяющая вероятность попадания в документ слов, которые относятся к заранее заданной теме. Такую модель еще называют латент-

ным (скрытым) распределением Дирихле. Формальное определение задачи следующее: словарь представляет из себя список слов, заранее отфильтрованных по частоте появления в тексте $\{1, \dots, V\}$. Каждое слово — это вектор w , $w_i \in \{1, \dots, V\}$, где ровно одна компонента равна 1. Каждый текст представляет собой последовательность из N слов w . В работе рассматривается коллекция из M текстов $D = \{w_d | d = 1..M\}$.

Положим, что количество тем T задается экзогенно. Для каждого документа есть распределение тем внутри него $\theta \sim p(T|d)$. Далее вычисляется вероятность появления слова в документе. Выбирается одна из тем случайным образом. Каждое слово попадает в выбранный документ, исходя из распределения слов $\beta \sim p(w|T)$.

Формируется T гипотез, что мы можем встретить слово w в документе d , если оно принадлежит теме t_1 или теме t_2 , и так далее до темы T . Полная вероятность появления слова может быть вычислена по формуле:

$$D_i(w|T) = \sum_{t \in T} p(w|T) \cdot p(T|d) = \sum_{t \in T} \theta_t \cdot \beta_t. \quad (1)$$

С помощью алгоритма латентного распределения Дирихле было произведено разбиение всех слов из списка на семи тем³: деньги и платежные системы, регулирование финансовой сферы, социальная сфера, международные отношения, фондовый рынок, экономические прогнозы и операции с собственностью (таблица 4⁴). Использовалось несколько итераций (пробовались различные значения T), пока не были сформированы кластеры слов, которые можно было бы однозначно поделить на темы. Названия этих тем были заданы постфактум. Названия для тем были подобраны, опираясь на эти слова. Необходимо посмотреть на то, какой процент тем содержится в каждом источнике. Для этого пересчитаем отдельно слова внутри каждого источника, которые относятся к каждой теме. Результаты приведены на рисунке 3. Видно, что экономические прогнозы занимают существенную часть в каждом источнике (13–18%).

² В мультиномиальной модели документ — это последовательность событий. Каждое событие — это случайный выбор одного слова из «мешка слов»

³ Для реализации алгоритма латентного распределения Дирихле на Python 3 используется библиотека *gensim*

⁴ В таблице указаны первые 20 слов, выданных данным алгоритмом для каждой темы

Таблица 1.

**Список названий тематических разбиений
и ключевых слов для них**

Наименование темы	Разбиение списка слов по темам
Деньги и платежные системы	акция, актив, инвестор, сделка, бумага, облигация, миллион, инвестиция, средство, сбербанк, крупный, криптовалюта, продажа, капитал, проект, акционер, ценный, золото, биржа, группа
Регулирование финансовой сферы	система, организация, средство, банковский, клиент, миллион, кредитный, сообщить, закон, информация, лицензия, решение, сумма, операция, требование, карта, деятельность, регулятор, число, случай
Социальная сфера	человек, проект, тысяча, работа, область, бизнес, работать, нижегородский, самый, новый, развитие, город, регион, другой, миллион, центр, очень, страна, деньга, место
Международные отношения	президент, страна, санкция, правительство, глава, путин, заявить, владимир, власть, вопрос, министр, отношение, против, экономический, сказать, совет, государство, украина, федерация, слово
Фондовый рынок	валюта, доллар, нефть, неделя, валютный, уровень, аналитик, ставка, снижение, баррель, индекс, инвестор, падение, нефтяной, котировка, отметка, американский, фактор, ожидать, страна
Экономические прогнозы	ставка, экономика, инфляция, уровень, снижение, экономический, прогноз, ключевой, глава, набиуллин, политика, считать, регулятор, повышение, заявить, сказать, решение, ситуация, эльвира, оценка
Операции с собственностью	кредит, ставка, кредитный, ипотечный, тысяча, ипотека, миллион, заемщик, кредитование, программа, бизнес, регион, доход, клиент, составить, жилье, сумма, условие, недвижимость, область

0,36	0,20	0,18	0,17	0,09	0,08	0,07	А) Распределения тем внутри РБК
0,36	0,21	0,10	0,10	0,10	0,09	0,04	Б) Распределение тем внутри ТАСС
0,25	0,23	0,14	0,14	0,09	0,08	0,07	В) Распределение тем внутри Газета.Ру
0,24	0,22	0,15	0,15	0,09	0,08	0,07	Г) Распределение тем внутри Коммерсанта
0,38	0,22	0,13	0,13	0,07	0,06	0,03	Д) Распределение тем внутри Финмаркета
Регулирование финансовой сферы	Фондовый рынок	Экономические прогнозы	Международные отношения	Операции с собственностью	Деньги и платежные системы	Социальная сфера	

Рис. 3. Распределения тем внутри источников

Поскольку в данном исследовании основной интерес представляет экономическая политика Банка России и ее восприятие экономическими агентами, была выделена и визуализирована тема, связанная с экономическими прогнозами (*рисунок 4*).

В статье Бейкера, Блума и Дэвиса [12] об измерении неопределенности экономической политики при создании индикатора неопределенности использовались дополнительные критерии отсеивания текстов из общего массива, созданного по заданным ключевым словам. Такой способ помогал выделить только те тексты, в которых были слова, связанные с экономикой и неопределенностью, а также учесть некоторые термины, связанные с экономической политикой. Следуя опыту авторов данной статьи и опираясь на рассмотренную выше визуализацию, были отсеяны тексты, в которых нет слов «прогноз», «риск», «сценарий» или «ожидание», а также производных от них. Далее из полученного массива были исключены тексты, в которых нет слова «экономика» и производных от него. Наконец, были отсеяны тексты, непосредственно не связанные с политикой Банка России, по словам «доход», «инфляция», «ставка» и производных от них. Следует отметить, что порядок отсеивания текстов по ключевым словам не имеет значения, но важно, чтобы в отобранных текстах содержались хотя бы по одному слову из всех трех групп ключе-

вых слов. По итогам произведенного отсева остался 4691 текст, что составляет около 21% от общего массива текстов.

В работе Бейкера, Блума и Дэвиса [12] также была произведена некоторая нормировка, контролирующая количество статей в каждом источнике. Авторы делят число статей с ключевыми словами на все статьи за период для каждого источника. Затем внутри каждого источника происходит стандартизация, то есть вычитается среднее значение и ряд делится на стандартное отклонение, после чего данные объединяются в один массив и суммируются за период. После этого данные масштабируются таким образом, чтобы минимальное значение было равно нулю.

Поскольку в упомянутом выше исследовании распределение статей по источникам неравномерно, в нашем исследовании была применена аналогичная нормировка. Такую нормировку важно учесть, поскольку каждый источник с разной частотой обзоревает новости и, кроме того, может иметь субъективное отношение к некоторым вопросам, связанным с политикой Банка России, а также освещать данную тему с большей или меньшей интенсивностью.

Индикатор не отражает отношение к центральному банку в терминах «хорошо» и «плохо», а показывает рост «обсуждаемости» политики Банка России в разрезе определенного набора тем, связанных с неопределенностью, отражая тем самым повышение и понижение интереса к нему. Таким образом, построенный индикатор отражает восприятие неопределенности политики Банка России экспертным сообществом. Важно также понимать, что на это восприятие влияют не только непосредственно прямые действия ЦБ, но и различные экономикополитические шоки, такие как, например, раунды санкций, которые не раз были наложены на Россию за рассматриваемый период. Полученный в результате индикатор показан на *рисунке 5*.

На *рисунке 5* наблюдаются три периода с повышенным значением индикатора: в 2015, 2016 и 2019 годах. Первое повышенное значение индикатора приходится на январь 2015 года, в тот момент Банк России неожиданно снизил ключевую ставку [13] после ее резкого поднятия в декабре 2014 года [14], когда были приняты жесткие меры для стабилизации обстановки на валютном рынке, возникшей из-за совокупности негативных экономических факторов (цены на нефть, санкции, спекулятивная

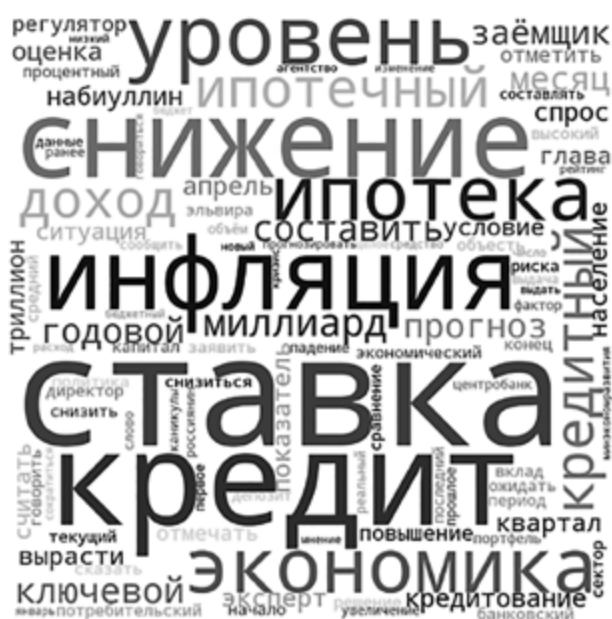


Рис. 4. Визуализация тематики экономических прогнозов
(чем больше шрифт, тем чаще слово встречается в текстах)

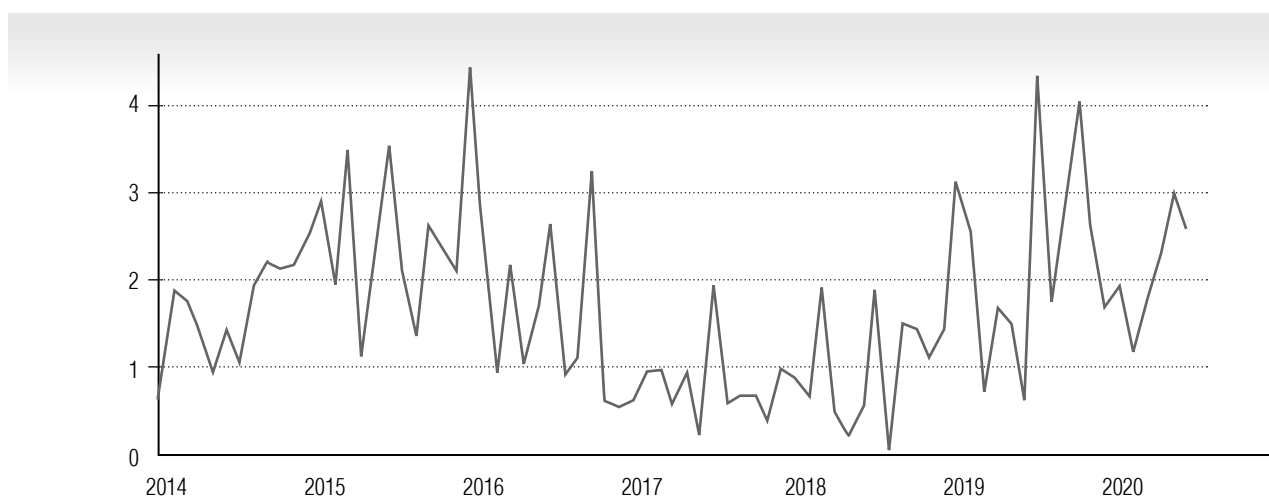


Рис. 5. Динамика индикатора неопределенности

составляющая на финансовом рынке). При этом рост индикатора неопределенности наблюдался в течение всей второй половины 2014 года, что соответствовало динамике валютного курса и общему росту неопределенности. В марте 2015 года Банк России оправдал ожидания рынка относительно смягчения монетарной политики [15], однако здесь можно наблюдать пик индикатора, что соответствовало оживленной дискуссии о дальнейших действиях регулятора. В конце июня 2015 года резко снизились инфляция, и ЦБ понизил ключевую ставку [16], причем все это шло вразрез с прогнозами экспертов и комментариями самого Банка России. В этот момент можно наблюдать высокие значения индикатора неопределенности, сравнимые с мартовским пиком. В сентябре, октябре и декабре 2015 года обсуждались дестабилизация обстановки на валютном рынке в связи с ростом цен на нефть и вопрос о неизменности ключевой ставки. Дальнейшая неизменность ставки была предсказуема в сентябре и октябре, но не в декабре, когда Банк России обещал снижение ключевой ставки на 0,5 п.п. [17]. В результате можно видеть новый пик индикатора в декабре 2015 года, который по величине несколько превосходит значения в июне и марте.

В марте 2016 года ЦБ РФ также отказался снижать ключевую ставку, что соответствовало прогнозам многих аналитиков [18]. В июне [19] и сентябре [20] 2016 года были усилены западные санкции и происходило снижение ключевой ставки, что привело к очередному росту неопределенности относительно политики Банка России.

С сентября 2018 года Центральный Банк РФ начал повышать ставку [21]. В конце 2018 года банк объявил о возобновлении закупки валюты с января 2019 года и новом повышении ключевой ставки [22], что также стало некоторой неожиданностью для многих экспертов и отразилось на росте индикатора неопределенности. В июне 2019 года проводился экономический форум (сопряженный с рядом негативных политических новостей, например, продолжающимся заключением Калви). Также Банком России была снижена ключевая ставка, впервые после ее постепенного увеличения с сентября 2018 года [23]. В этот момент наблюдается резкий рост индикатора, что соответствует высокой степени неопределенности в экономике, перекладывающейся и в неопределенность относительно экономической политики. Также банком было прокомментировано, что во время следующего заседания скорее всего ключевая ставка будет снижена, что и произошло в июле и не вызвало всплеска неопределенности. В сентябре ставка была снижена третий раз за год [24], однако это было сопряжено с новым раундом экономических санкций, что в итоге привело к очередному пику построенного индикатора.

Сложившаяся на текущий момент ситуация в значительной мере отличается от рассмотренных пиков индикатора неопределенности. Пандемия коронавируса привела к глобальному экономическому кризису. Спад экономической активности и сдвиг вниз кривой совокупного спроса также отразились на ценах на нефть, что привело к падению курса рубля. Однако поддержание валютно-

го курса в данном случае не имеет смысла именно из-за природы глобального шока, на борьбу с которым и должно быть направлено действие экономической политики. В связи с этим многими экспертами ожидалось смягчение (или, как минимум, неужесточение) денежно-кредитной политики в целях стимулирования спроса. Так, 24 апреля 2020 года Банком России было принято решение снизить ключевую ставку на 0,5 п.п. Видно, что такое решение хотя и несколько повысило уровень неопределенности, однако оставило индикатор на умеренном уровне. В начале мая неопределенность по отношению к Банку России начала спадать в связи с укреплением курса рубля и ростом цены на нефть. Однако в конце мая активно обсуждалась новость о том, что Центральный банк собирается значительно снизить ставку в июне [25]. В итоге можно сделать вывод, что динамика построенного индикатора отражает происходившие в экономике события, а высокие значения индикатора соответствуют росту неопределенности в восприятии политики Банка России и укладываются в экономическую логику.

2. Построение моделей с индикатором неопределенности

Неопределенность в денежно-кредитной политике, среди прочего, может влиять и на волатильность валютного курса, который является одним из факторов движения цен акций в рамках финансовой теории (расширенная модель CAPM). В связи с этим интересно проанализировать влияние построенного индикатора на динамику рыночных показателей.

Нами были рассмотрены модели с фондовыми индексами ММВБ и РТС за период с 01.01.2014 по 31.05.2020. Тестирование значимости построенного индикатора в объяснении динамики финансового рынка проводилось с помощью моделей GARCH. Для учета большего количества информации в данных моделях мы используем индикатор, построенный с двухнедельной периодичностью. Из рисунка 6 видно, что двухнедельный индикатор неопределенности в целом имеет схожую динамику с месячным аналогом. Однако рассмотренные пики местами являются более выразительными, поскольку содержат описанные выше события и не сглаживаются прочими наблюдениями за месяц.

Сначала были подобраны модели без индикатора для описания волатильности каждого индекса, потом был добавлен индикатор в уравнение дисперсии индексов. Процесс GARCH(α , β) с уравнением среднего ARMA(p , q) в общем виде представлен следующим образом:

$$\begin{aligned} y_t &= c + \sum_{s=1}^k p_s y_{t-s} + \sum_{s=1}^l q_s \varepsilon_{t-s}, \\ \varepsilon_t &= \sqrt{h_t} \cdot v_t, v_t \sim \text{i.i.d. } N(0,1), \\ h_t &= \omega + \sum_{j=1}^m \alpha_j \varepsilon_{t-j}^2 + \sum_{j=1}^r \beta_j h_{t-j}, \end{aligned} \quad (2)$$

где h_t — условная дисперсия;

c — константа в уравнении среднего;

ω — константа в уравнении дисперсии;

p_s — коэффициенты при лагах в уравнении среднего;

q_s — коэффициенты при лагах ошибок в уравнении среднего;

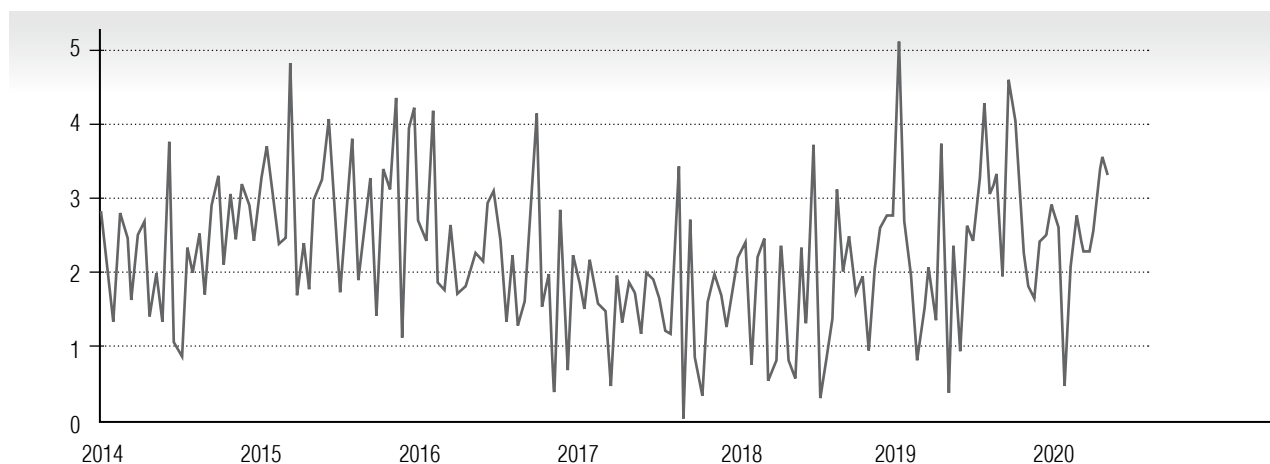


Рис. 6. Динамика двухнедельного индикатора неопределенности

α_j — коэффициенты при лагах в уравнении дисперсии;

β_j — коэффициенты при лагах ошибок в уравнении дисперсии;

y_t — текущее значение ряда.

Для анализа выбранных распределений инноваций в моделях с индикатором неопределенности был использован критерий согласия Пирсона. Он состоит в том, что выборка делится на несколько интервалов. Пусть n_i — число элементов, попавших в i -й интервал, вероятность попадания случайной величины в интервал i равна p_i . Отклонение выборочного распределения от теоретического определяется по формуле:

$$\sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}. \quad (3)$$

Сумма имеет асимптотическое χ^2 распределение со степенью свободы $f = k - c - 1$, где c — число параметров модели, определяемых по выборке. Если значение статистики из формулы (3) меньше табличного значения квантиля $\chi^2_{1-p}(f)$ из таблицы критических значений распределения, то гипотеза о принятой спецификации модели не отвергается.

Эмпирическим путем для фондового индекса ММВБ была подобрана модель GARCH(1,1) с уравнением среднего ARMA(1,1) и скошенным нормальным распределением инноваций, т.е. $v_t \sim \text{i.i.d. } SN(0,1)$. Сравнение нормального распределения и скошенного нормального распределения стандартизированных инноваций проиллюстриро-

вано на *рисунке 7*. Заметно, что распределение инноваций асимметрично, что следует учитывать при оценивании модели.

Для подтверждения адекватности выбранного распределения инноваций был использован критерий согласия Пирсона (*таблица 2*).

Таблица 2.

**Результаты теста Пирсона
в модели для ММВБ с добавлением
индикатора неопределенности**

	Группы	Статистика	p-value
1	20	21,95	0,2867
2	30	28,00	0,5179
3	40	34,54	0,6733
4	50	38,00	0,8725

Значение p-value всегда выше уровня значимости $\alpha = 0,05$, поэтому можно сделать вывод, что распределение инноваций для модели с использованием индикатора неопределенности подобрано адекватно. Полученные результаты GARCH моделей для фондового индекса ММВБ представлены в *таблице 3*.

Также были подобраны модели GARCH(1,1) с ARMA(1,1) и скошенным нормальным распределением инноваций для описания волатильности фондового индекса РТС на двухнедельных данных. На *рисунке 8* видно, что распределение инноваций также скошено влево.

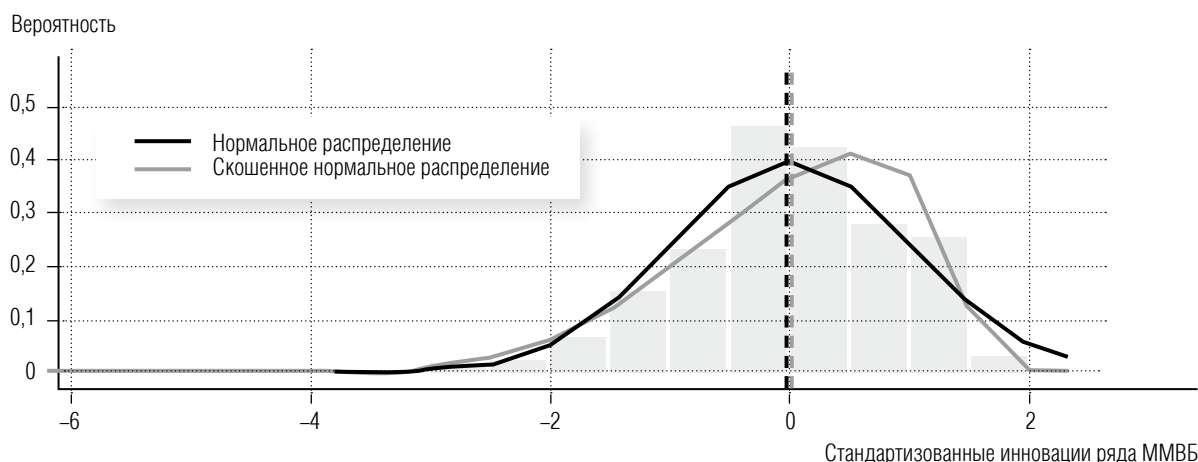


Рис. 7. Сравнение стандартизированных инноваций ряда ММВБ с нормальным распределением и скошенным нормальным распределением

Сравнение моделей GARCH для описания волатильности индекса ММВБ с индикатором неопределенности и без него на двухнедельных данных

Коэффициенты	Модель с добавлением индикатора неопределенности	Модель без добавления индикатора неопределенности
c	0,0046*** (-0,0002)	0,0046*** (-0,0001)
p	0,8545*** (-0,039)	0,8232*** (-0,0528)
q	-0,9999*** (-0,0024)	-1*** (-0,0023)
ω	0 (-0,0000)	0,0003 (-0,0002)
α	0,1275 (-0,0828)	0,1016** (-0,0414)
β	0,3643 (-0,2804)	0,7009*** (-0,1639)
Индикатор неопределенности	0,0003** (-0,0001)	
Коэффициент асимметрии распределения ошибок	0,5681*** (-0,1129)	0,6124*** (-0,1255)
Информационный критерий Шварца	-3,7484	-3,7417

Таблица 3.

Для подобранной модели с индикатором тоже был проведен тест на адекватность выбранного распределения инноваций по критерию Пирсона. Полученные результаты представлены в *таблице 4*.

Таблица 4.

Результаты теста Пирсона в модели для РТС с добавлением индикатора неопределенности

	Группы	Статистика	p -value
1	20	24,42	0,1805
2	30	33,56	0,2559
3	40	43,43	0,2881
4	50	53,43	0,3079

Значение p -value всегда выше уровня значимости $\alpha = 0,05$, поэтому распределение инноваций в модели для РТС с добавлением индикатора неопределенности подобрано адекватно, согласно критерию Пирсона. Результаты GARCH моделей для фондового индекса РТС приведены в *таблице 5*.

3. Анализ моделей с индикатором неопределенности

Из *таблиц 3 и 5* видно, что информационный критерий Шварца снизился при добавлении индикатора. Коэффициент при индикаторе неопределенности

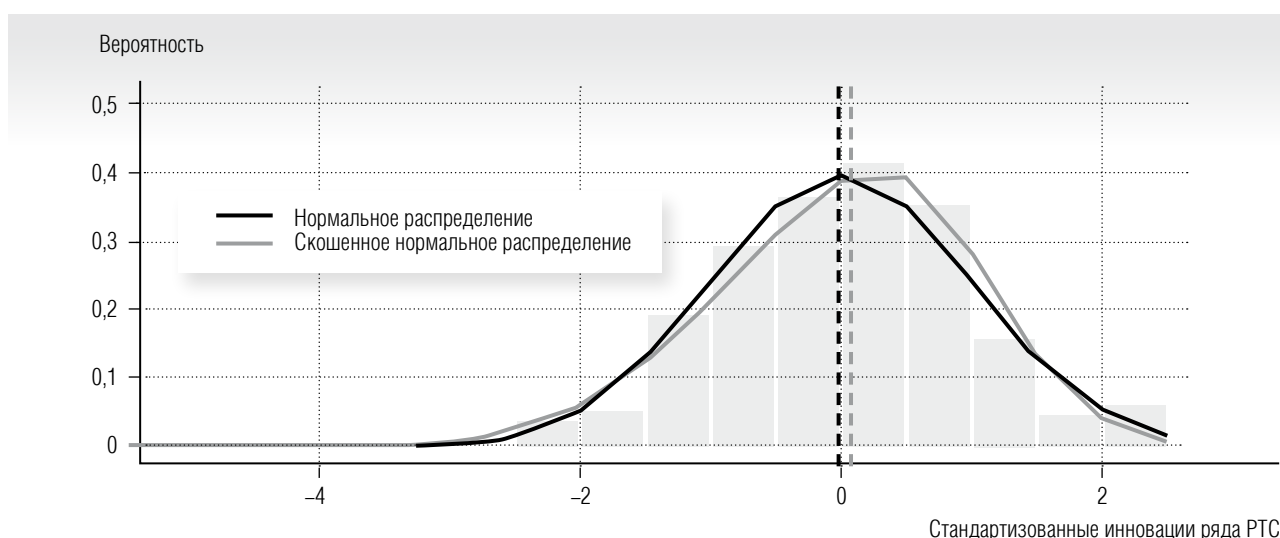


Рис. 8. Сравнение стандартизованных инноваций ряда РТС с нормальным распределением и скошенным нормальным распределением

Таблица 5.

**Сравнение моделей GARCH
для описания волатильности
индекса РТС с добавлением индикатора
неопределенности и без его добавления
на двухнедельных данных**

Коэффициенты	Модель с добавлением индикатора неопределенности	Модель без добавления индикатора неопределенности
c	0,0010 (-0,0044)	0,0004 (-0,0053)
p	-0,7837*** (-0,1154)	0,-0,8065*** (-0,1104)
q	0,8163*** (-0,0882)	0,8356*** (-0,0899)
ω	0 (-0,0000)	0,0003 (-0,0002)
α	0,0369 (-0,0784)	0,0748** (-0,0375)
β	0,2438 (-0,2455)	0,8529*** (-0,0667)
Индикатор неопределенности	0,0011** (-0,0005)	
Коэффициент асимметрии распре- деления ошибок	0,7971*** (-0,1051)	0,7329*** (-0,0869)
Информационный критерий Шварца	-2,7201	-2,7038

ности в *таблице 3* имеет положительный знак, что говорит об увеличении дисперсии ММВБ примерно на 0,0003 при росте индикатора неопределенности на единицу. Несмотря на то, что индикатор неопределенности значим на уровне 5% в данной спецификации, его влияние на фондовый рынок ограничено.

В *таблице 5* информационный критерий также снизился при добавлении индикатора. Коэффициент при индикаторе неопределенности значим на уровне 5% и имеет положительный знак, что говорит об увеличении дисперсии РТС примерно на 0,0011 при росте индикатора неопределенности на едини-

цу. Этот результат значительно более высокий, чем для ММВБ, что может означать большее влияние индикатора неопределенности на валютную составляющую фондового индекса РТС, чем на акции.

Заключение

В данной работе построен индикатор неопределенности, отражающий восприятие экспертами политики Банка России. Для построения индикатора было использовано более 22000 новостей из пяти новостных источников, проведена предобработка текстов и разбиение всех слов в текстах на темы с помощью алгоритма скрытого распределения Дирихле, а также представлена визуализация слов из ключевого тематического блока (построение облака слов). Кроме того, было выполнено нормирование на количество статей в источниках. Динамика индикатора неопределенности была подробно объяснена в контексте происходивших событий и заявлений Банка России.

Для проверки валидности построенного индикатора были оценены модели GARCH, объясняющие волатильность фондовых индексов ММВБ и РТС на двухнедельных данных. Полученные коэффициенты при индикаторе неопределенности оказались значимы в моделях GARCH(1,1) с уравнением ARMA(1,1) и скошенным распределением ошибок для описания волатильности ММВБ и РТС.

Построенный индикатор может быть использован как для прогнозирования отдельных макроэкономических показателей, а также быть частью модельного аппарата, используемого Банком России для проведения денежно-кредитной политики, поскольку он отражает ожидания экономических агентов. Возможным направлением будущих исследований является конструирование индикаторов курсовых и инфляционных ожиданий. ■

Благодарности

Статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы государственного задания РАНХиГС.

Литература

1. Kurov A., Stan R. Monetary policy uncertainty and the market reaction to macroeconomic news // Journal of Banking & Finance. 2018. Vol. 86. P. 127–142. DOI: 10.1016/j.jbankfin.2017.09.005.
2. Husted L., Rogers J., Sun B. Monetary policy uncertainty // International Finance Discussion Papers. 2017. No 1215. DOI: 10.17016/IFDP.2017.1215.
3. Web-based application for sentiment analysis of live tweets / N. Sharma [et al.] // 19th Annual International Conference on Digital Government Research: Governance in the Data Age. Delft, the Netherlands, 30 May – 1 June 2018. P. 1–2.
4. Supervised learning for fake news detection / J.C.S. Reis [et al.] // IEEE Intelligent Systems. 2019. Vol. 34. No 2. P. 76–81. DOI: 10.1109/MIS.2019.2899143.

5. The effects of Twitter sentiment on stock price returns / G. Ranco [et al.] // PLoS One. 2015. Vol. 10. No 9. Article no e0138441. DOI: 10.1371/journal.pone.0138441.
6. Fu Y., Hao J.-X., Li X., Hsu C.H.C. Predictive accuracy of sentiment analytics for tourism: A metalearning perspective on Chinese travel news // Journal of Travel Research. 2019. Vol. 58. No 4. P. 666–679. DOI: 10.1177/0047287518772361.
7. Park E., Kang J., Choi D., Han J. Understanding customers' hotel revisiting behaviour: A sentiment analysis of online feedback reviews // Current Issues in Tourism. 2020. Vol. 23. No 5. P. 605–611. DOI: 10.1080/13683500.2018.1549025.
8. Central Bank communication and monetary policy: A survey of theory and evidence / A.S. Blinder [et al.] // Journal of Economic Literature. 2008. Vol. 46. No 4. P. 910–945. DOI: 10.1257/jel.46.4.910.
9. Ponomareva N., Sheen J., Wang B.Z. Does monetary policy respond to uncertainty? Evidence from Australia // The Australian Economic Review. 2019. Vol. 52. No 3. P. 336–343. DOI: 10.1111/1467-8462.12338.
10. Hansen S., McMahon M. Shocking language: Understanding the macroeconomic effects of central bank communication // Journal of International Economics. 2016. Vol 99. Suppl. 1. P. S114–S133. DOI: 10.1016/j.jinteco.2015.12.008.
11. Cieslak A., Schrimpf A. Non-monetary news in central bank communication // Journal of International Economics. 2019. Vol. 118. P. 293–315. DOI: 10.1016/j.jinteco.2019.01.012.
12. Baker S.R., Bloom N., Davis S.J. Measuring economic policy uncertainty // The Quarterly Journal of Economics. 2016. Vol. 131. No 4. P. 1593–1636. DOI: 10.1093/qje/qjw024.
13. О ключевой ставке Банка России. Пресс-релиз // Банк России, 30 января 2015 г. [Электронный ресурс]: http://www.cbr.ru/press/PR/?file=30012015_133122dkp2015-01-30t13_15_49.htm (дата обращения 01.09.2020).
14. О ключевой ставке Банка России и других мерах Банка России. Пресс-релиз // Банк России, 16 декабря 2014 г. [Электронный ресурс]: http://www.cbr.ru/press/PR/?file=16122014_004533dkp2014-12-16t00_39_23.htm (дата обращения 01.09.2020).
15. О ключевой ставке Банка России. Пресс-релиз // Банк России, 13 марта 2015 г. [Электронный ресурс]: https://www.cbr.ru/press/PR/?file=13032015_133031dkp2015-03-13T13_20_49.htm (дата обращения 01.09.2020).
16. Доклад о денежно-кредитной политике // Банк России. 2015. № 2. [Электронный ресурс]: https://www.cbr.ru/Collection/Collection/File/7846/2015_02_ddcp.pdf (дата обращения 01.09.2020).
17. Банк России сохранил ключевую ставку на уровне 11%, но пообещал вскоре ее снизить // ТАСС, 30 октября 2015 г. [Электронный ресурс]: <https://tass.ru/ekonomika/2393054> (дата обращения 01.09.2020).
18. Банк России сохранил ключевую ставку на уровне 11% // Коммерсантъ, 18 марта 2016 г. [Электронный ресурс]: <https://www.kommersant.ru/doc/2942422> (дата обращения 01.09.2020).
19. ЕС продлил санкции против России на полгода // Коммерсантъ, 22 июня 2015 г. [Электронный ресурс]: <https://www.kommersant.ru/doc/2752381> (дата обращения 01.09.2020).
20. США расширили санкции в отношении России // Ведомости, 1 сентября 2016 г. [Электронный ресурс]: <https://www.vedomosti.ru/politics/articles/2016/09/01/655346-ssha-rasshirili-sanktsii-otnoshenii> (дата обращения 01.09.2020).
21. Доклад о денежно-кредитной политике // Банк России. 2018. № 3. [Электронный ресурс]: https://www.cbr.ru/Collection/Collection/File/7822/2018_03_ddcp.pdf (дата обращения 01.09.2020).
22. Доклад о денежно-кредитной политике // Банк России. 2018. № 4. [Электронный ресурс]: https://www.cbr.ru/Collection/Collection/File/14169/2018_04_ddcp.pdf (дата обращения 01.09.2020).
23. Банк России принял решение снизить ключевую ставку на 25 б.п., до 7,50% годовых. Пресс-релиз // Банк России, 14 июня 2019 г. [Электронный ресурс]: https://www.cbr.ru/press/pr/?file=14062019_133000Key.htm (дата обращения 01.09.2020).
24. ЦБ опустил ключевую ставку до минимума с 2014 года // РБК, 6 сентября 2019 г. [Электронный ресурс]: <https://www.rbc.ru/finances/06/09/2019/5d7216039a794762b661a2e4> (дата обращения 01.09.2020).
25. Набиуллина не увидела повода для внепланового снижения ключевой ставки // РБК, 22 мая 2020 г. [Электронный ресурс]: <https://www.rbc.ru/finances/22/05/2020/5ec78c839a79472a021822be> (дата обращения 01.09.2020).
26. ЦБ может понизить ставку через неделю. Что это значит для инвестора // РБК, 17 апреля 2020 г. [Электронный ресурс]: <https://quote.rbc.ru/news/article/5e9986ea9a794764e362322e> (дата обращения 01.09.2020).

Об авторах

Голованова Елизавета Александровна

младший научный сотрудник, Институт прикладных экономических исследований, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, 119571, г. Москва, проспект Вернадского, д. 82, стр.1;

студентка магистратуры, отделение экономики, математики и информационных технологий, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, 119571, г. Москва, проспект Вернадского, д. 82, стр.1;

E-mail: golovanova-ea@ranepa.ru

ORCID: 0000-0002-9073-7553

Зубарев Андрей Витальевич

кандидат экономических наук; старший научный сотрудник, Институт прикладных экономических исследований, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, 119571, г. Москва, проспект Вернадского, д. 82, стр.1;

преподаватель, отделение экономики, математики и информационных технологий, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, 119571, г. Москва, проспект Вернадского, д. 82, стр.1;

E-mail: zubarev@ranepa.ru

ORCID: 0000-0003-2945-5271

Building the uncertainty indicator regarding adjustment of the Bank of Russia's monetary policy relying on news sources

Elizaveta A. Golovanova

E-mail: golovanova-ea@ranepa.ru

Andrei V. Zubarev

E-mail: zubarev@ranepa.ru

Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration

Address: 82, build. 1, Prospect Vernadskogo, Moscow 119571, Russia

Abstract

Text analysis with machine learning support can be implemented for studying experts' relations to the Bank of Russia. To reach macroeconomic goals, the communication policy of the bank must be predictable and trustworthy. Surveys addressing this theme are still insufficient compare to the theoretical studies on the subject of other bank tools. The goal of this research is to analyze the perception of uncertainty by economic agents. For that purpose, we built an uncertainty indicator based on news sources from the Internet and on textual analysis. The dynamics of the indicator reflect unexpected statements of the Bank of Russia and events affecting monetary policy. Financial theory links monetary policy and stock prices, so we used this fact to examine the impact of the uncertainty indicator on the MOEX and RTS indices. We tested the hypothesis that our indicator is significant in GARCH models for chosen financial series. We found out several specifications in which our indicator is significant. Among the specifications considered, the uncertainty indicator contributes the most to explaining variances of the RTS index. The obtained uncertainty indicator can be used for forecasting of different macroeconomic variables.

Key words: uncertainty; Bank of Russia; news sources; data analysis; machine learning; word cloud; stock index.

Citation: Golovanova E.A., Zubarev A.V. (2020) Building the uncertainty indicator regarding adjustment of the Bank of Russia's monetary policy relying on news sources. *Business Informatics*, vol. 14, no 4, pp. 62–75. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.62.75

References

1. Kurov A., Stan R. (2018) Monetary policy uncertainty and the market reaction to macroeconomic news. *Journal of Banking & Finance*, vol. 86, pp. 127–142. DOI: 10.1016/j.jbankfin.2017.09.005.
2. Husted L., Rogers J., Sun B. (2017) Monetary policy uncertainty. *International Finance Discussion Papers*, no 1215. DOI: 10.17016/IFDP.2017.1215.
3. Sharma N., Pabreja R., Yaqub U., Atluri V., Chun S.A., Vaidya J. (2018) Web-based application for sentiment analysis of live tweets. *Proceedings of the 19th Annual International Conference on Digital Government Research: Governance in the Data Age, Delft, the Netherlands, 30 May – 1 June 2018*, pp. 1–2.
4. Reis J.C.S., Correia A., Murai F., Veloso A., Benevenuto F. (2019) Supervised learning for fake news detection. *IEEE Intelligent Systems*, vol. 34, no 2, pp. 76–81. DOI: 10.1109/MIS.2019.2899143.
5. Ranco G., Aleksovski D., Caldarelli G., Grčar M., Mozetič I. (2015) The effects of Twitter sentiment on stock price returns. *PLoS One*, vol. 10, no 9, article no e0138441. DOI: 10.1371/journal.pone.0138441.
6. Fu Y., Hao J.-X., Li X., Hsu C.H.C. (2019) Predictive accuracy of sentiment analytics for tourism: A metalearning perspective on Chinese travel news. *Journal of Travel Research*, vol. 58, no 4, pp. 666–679. DOI: 10.1177/0047287518772361.
7. Park E., Kang J., Choi D., Han J. (2020) Understanding customers' hotel revisiting behaviour: A sentiment analysis of online feedback reviews. *Current Issues in Tourism*, vol. 23, no 5, pp. 605–611. DOI: 10.1080/13683500.2018.1549025.
8. Blinder A.S., Ehrmann M., Fratzscher M., Haan J. D., Jansen D.-J. (2008) Central Bank communication and monetary policy: A survey of theory and evidence. *Journal of Economic Literature*, vol. 46, no 4, pp. 910–945. DOI: 10.1257/jel.46.4.910.
9. Ponomareva N., Sheen J., Wang B.Z. (2019) Does monetary policy respond to uncertainty? Evidence from Australia. *The Australian Economic Review*, vol. 52, no 3, pp. 336–343. DOI: 10.1111/1467-8462.12338.
10. Hansen S., McMahon M. (2016) Shocking language: Understanding the macroeconomic effects of central bank communication. *Journal of International Economics*, vol 99, suppl. 1, pp. S114–S133. DOI: 10.1016/j.jinteco.2015.12.008.

11. Cieslak A., Schrimpf A. (2019) Non-monetary news in central bank communication. *Journal of International Economics*, vol. 118, pp. 293–315. DOI: 10.1016/j.jinteco.2019.01.012.
12. Baker S.R., Bloom N., Davis S.J. (2016) Measuring economic policy uncertainty. *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 131, no 4, pp. 1593–1636. DOI: 10.1093/qje/qjw024.
13. Bank of Russia (2015) *About the key rate of the Bank of Russia*. Press release, 30 January 2015. Available at: http://www.cbr.ru/press/PR/?file=30012015_133122dkp2015-01-30t13_15_49.htm (accessed 1 September 2020).
14. Bank of Russia (2014) *About the key rate of the Bank of Russia and other measures of the Bank of Russia*. Press release, 16 December 2014. Available at: http://www.cbr.ru/press/PR/?file=16122014_004533dkp2014-12-16t00_39_23.htm (accessed 1 September 2020).
15. Bank of Russia (2015) *About the key rate of the Bank of Russia*. Press release, 13 March 2015. Available at: https://www.cbr.ru/press/PR/?file=13032015_133031dkp2015-03-13T13_20_49.htm (accessed 1 September 2020).
16. Bank of Russia (2015) *Monetary policy report*, no 2. Available at: https://www.cbr.ru/Collection/Collection/File/7846/2015_02_ddcp.pdf (accessed 1 September 2020).
17. TASS (2015) The Bank of Russia kept the key rate at the level of 11%, but promised to reduce it soon. *TASS*, 30 October 2015. Available at: <https://tass.ru/ekonomika/2393054> (accessed 1 September 2020).
18. Kommersant (2016) The Bank of Russia kept the key rate on the level of 11%. *Kommersant*, 18 March 2016. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/2942422> (accessed 1 September 2020).
19. Kommersant (2015) EU extends sanctions against Russia for half a year. *Kommersant*, 22 June 2015. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/2752381> (accessed 1 September 2020).
20. Vedomosti (2016) USA extended sanctions against Russia. *Vedomosti*, 1 September 2016. Available at: <https://www.vedomosti.ru/politics/articles/2016/09/01/655346-ssha-rasshirili-sanktsii-otnoshenii> (accessed 1 September 2020).
21. Bank of Russia (2018) *Monetary policy report*, no 3. Available at: https://www.cbr.ru/Collection/Collection/File/7822/2018_03_ddcp.pdf (accessed 1 September 2020).
22. Bank of Russia (2018) *Monetary policy report*, no 4. Available at: https://www.cbr.ru/Collection/Collection/File/14169/2018_04_ddcp.pdf (accessed 1 September 2020).
23. Bank of Russia (2019) *The Bank of Russia has decided to reduce its key rate by 25 bp to 7.50% per annum*. Press release, 14 June 2019. Available at: https://www.cbr.ru/press/pr/?file=14062019_133000Key.htm (accessed 1 September 2020).
24. RBC (2019) The Central Bank lowered the key rate to a minimum since 2014. *RBC*, 6 September 2019. Available at: <https://www.rbc.ru/finances/06/09/2019/5d7216039a794762b661a2e4> (accessed 1 September 2020).
25. RBC (2020) Nabiullina did not see a reason for an unplanned reduction in the key rate. *RBC*, 22 May 2020. Available at: <https://www.rbc.ru/finances/22/05/2020/5ec78c839a79472a021822be> (accessed 1 September 2020).
26. RBC (2020) The Central Bank may lower the rate in a week. What does this mean for an investor. *RBC*, 17 April 2020. Available at: <https://quote.rbc.ru/news/article/5e9986ea9a794764e362322e> (accessed 1 September 2020).

About the authors

Elizaveta A. Golovanova

Junior Researcher, Institute of Applied Economic Research, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 82, build. 1, Prospect Vernadskogo, Moscow 119571, Russia;

MSc Student, Department of Economics, Mathematics and Informational Technology, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 82, build. 1, Prospect Vernadskogo, Moscow 119571, Russia;

E-mail: golovanova-ea@ranepa.ru

ORCID: 0000-0002-9073-7553

Andrei V. Zubarev

Cand. Sci. (Econ.);

Senior Researcher, Institute of Applied Economic Research, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 82, build. 1, Prospect Vernadskogo, Moscow 119571, Russia;

Lecturer, Department of Economics, Mathematics and Informational Technology, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 82, build. 1, Prospect Vernadskogo, Moscow 119571, Russia;

E-mail: zubarev@ranepa.ru

ORCID: 0000-0003-2945-5271

Производственная функция народного хозяйства с учетом транспортно-коммуникационной инфраструктуры и распространения уханьского коронавируса в России

А.А. Афанасьев 

E-mail: aanton@cemi.rssi.ru

О.С. Пономарева

E-mail: fondf@cemi.rssi.ru

Центральный экономико-математический институт Российской академии наук
Адрес: 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47

Аннотация

Транспортно-коммуникационная инфраструктура играет важную роль в обеспечении расширенного воспроизводства экономики, в том числе в условиях распространения по миру уханьского коронавируса (SARS-CoV-2). В условиях эпидемии и связанных с ней ограничительных мер возрастает роль коммуникационной составляющей экономики, которая в определенной степени вынужденно замещает транспортную. Мы провели эконометрическое исследование народнохозяйственной производственной функции российской экономики с учетом транспортно-коммуникационной инфраструктуры, представленной среднегодовой стоимостью основных фондов чистых отраслей транспорта и связи за 1990–2018 гг. Аргументами этой функции являются среднегодовая стоимость основных фондов в сопоставимых ценах 1990 года, среднегодовой уровень загрузки производственных мощностей в российской промышленности, среднегодовая численность занятых в народном хозяйстве и среднегодовая стоимость основных фондов чистых отраслей транспорта и связи в сопоставимых ценах 1990 года. Результаты исследования показали, что в течение 2010–2018 гг. эластичность ВВП России по инфраструктуре снижается, что, по мнению авторов, объясняется сокращением за этот период объемов капитальных вложений в основные фонды инфраструктурных отраслей. Кроме того, мы предложили аналитическую модификацию народнохозяйственной производственной функции для 2020 года в условиях распространения в России уханьского коронавируса, путем введения в данную функцию среднегодовых уровней использования рабочей силы и загрузки транспортно-коммуникационной инфраструктуры. Эти показатели, наряду со среднегодовым уровнем загрузки основных фондов, являются функциями прогнозных значений суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России. В свою очередь, эти прогнозные значения рассчитываются на основе исследованной методом наименьших квадратов квадратичной экспоненты Гаусса, зависящей от времени (суток). Мы приводим результаты исполнения прогнозов динамики суточной численности инфицированных уханьским коронавирусом жителей России и г. Москвы по состоянию на весну 2020 года, средняя ошибка которых составляет на 30 дней по России 10,4% и на 5 недель по г. Москве – 10%. Также представлены прогнозы суточной численности инфицированных жителей России на осень 2020 – весну 2021 гг.

Ключевые слова: эконометрическое исследование; российская экономика; макроэкономическая производственная функция; транспортно-коммуникационная инфраструктура; эконометрическое прогнозирование; уханьский коронавирус; SARS-CoV-2; COVID-19; уровень использования факторов производства.

Цитирование: Афанасьев А.А., Пономарева О.С. Производственная функция народного хозяйства с учетом транспортно-коммуникационной инфраструктуры и распространения уханьского коронавируса в России // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 4. С. 76–95. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.76.95

Введение

Производственная инфраструктура имеет важное народнохозяйственное значение. В послании Президента России Федеральному Собранию говорится, что ее модернизация и развитие имеют большое значение для укрепления каркаса страны, дают импульс развитию территорий (в том числе Крыма и Севастополя), способствует экономическому росту [1]. В частности, железнодорожный Крымский мост, который был введен в действие в 2019 году, дал мощный импульс развитию Республики Крым и города Севастополь. Таким образом, разработка мер государственной политики по устойчивому развитию, модернизации и эффективному использованию производственной инфраструктуры экономики Российской Федерации, в том числе, ее транспортно-коммуникационной составляющей, является актуальной задачей, для решения которой может применяться современный экономико-математический инструментарий.

Вопросам развития и модернизации транспортно-коммуникационной инфраструктуры российской экономики посвящено немало научных трудов [2]. Одним из пионеров в области исследования развития отечественной инфраструктуры является Григорий Дмитриевич Дубелир (1874–1942), работы которого посвящены оптимизации сети автомобильных дорог [3–7].

В коллективном труде Н.П. Лаверова и др. [8], представляющем собой экспертное заключение на проект строительства международного морского канала «Евразия», отмечается, что предварительная оценка возможных рисков (включая транспортно-экономические, экологические, политические и международно-правовые) этого проекта свидетельствует об их достаточно высоком уровне. Авторы исследуют современное состояние околосовских и водных экосистем на территории предполагаемого строительства канала «Евразия», заявляют о важности дополнительных инженерно-экологических

изысканий для уточнения текущего состояния водных ресурсов территории и о необходимости более глубокой проработки вариантов последствий строительства этого крупного водохозяйственного объекта, а также уделяют особое внимание мерам, направленным на уменьшение негативных последствий реализации проекта.

В работе М.Г. Завельского [9] разработана эконометрическая модель прогноза основных макроэкономических показателей для регионов РФ с учетом влияния инфраструктурного фактора, в частности, валового регионального продукта (ВРП). Эта модель учитывает специфику административно-территориальных единиц России и, по мнению автора, позволяет с большей точностью, чем существующие модели, прогнозировать динамику изменения этих показателей.

В работе В.Н. Лившица, И.А. Мироновой и А.Н. Шевцова [10] на основе оценки социально-экономической эффективности инвестиционных проектов обосновывается необходимость принятия государственных стратегических решений по развитию транспортной инфраструктуры, а также описываются прикладные возможности предлагаемого авторами подхода на примере инвестиционных проектов нового железнодорожного строительства в России.

В статье Э.И. Позамантира [11] предложена модель вычислимого общего равновесия экономики, на основе которой проводится исследование наиболее важных составляющих стратегии развития транспортной инфраструктуры – выбора источников и объемов финансирования капитальных вложений в развитие инфраструктуры, включая влияние данного выбора на развитие народного хозяйства в целом и на конечное потребление. Моделируется формирование внутренних источников финансирования инвестиционного фонда из созданной в предыдущем периоде добавленной стоимости, а также приводятся результаты экспериментальных расчетов.

В статье В.А. Садовниченко и др. [12] при помощи методов математического моделирования и прогнозирования произведена количественная оценка долгосрочных эффектов (макроэкономических, социальных и геополитических) внедрения проекта по развитию железных дорог Дальнего Востока и Сибири, включая строительство высокоскоростной грузопассажирской магистрали. Расчеты авторов показали, что реализация этого проекта будет играть важную роль в социально-экономическом развитии Российской Федерации и укреплении геополитических и геоэкономических позиций России в Азиатско-Тихоокеанском регионе и в мире в целом.

Вместе с тем, проблема оценки макроэкономического эффекта развития и модернизации транспортно-коммуникационной инфраструктуры решена не до конца, что связано, прежде всего, с концентрацией исследователей на одной из ее составляющих: чаще — транспортной и реже — коммуникационной, которая, как отмечает академик В.Л. Макаров, играет важную роль на современном этапе движения общества к экономике знаний [13]. В предложенной авторами эконометрической модели производственной функции российской экономики [14] эта проблема решается путем выделения среднегодовой стоимости основных фондов чистых отраслей транспорта и связи¹ в отдельный аргумент функции, что позволило провести оценку влияния инфраструктуры на такой важнейший макроэкономический показатель экономики нашей страны как валовый внутренний продукт (ВВП) за 1990–2012 годы. В настоящее время представляется актуальным исследовать производственную функцию в расширенном временном промежутке 1990–2018 гг., с целью дальнейшего изучения и анализа влияния инфраструктуры на ВВП России.

1. Модель производственной функции и статистические данные

Для оценки влияния транспортно-коммуникационной инфраструктуры на ВВП России авторами во временных промежутках, начинающихся с 1990 года и оканчивающихся 2013–2018 гг., проведено эконометрическое исследование предложенной

ими ранее [14] макроэкономической производственной функции вида:

$$Y_t = e^{\alpha} (z_t K_t)^{\beta} L_t^{1-\beta} I_t^{\gamma}, \quad (1)$$

где Y_t — ВВП России в сопоставимых ценах 1990 г. в году t ;

K_t — среднегодовая стоимость основных фондов экономики России в сопоставимых ценах 1990 г. в году t ;

z_t — среднегодовой уровень загрузки производственных мощностей в российской промышленности в году t ;

L_t — среднегодовая численность занятых в экономике в году t ;

I_t — среднегодовая стоимость основных фондов инфраструктуры (чистых отраслей транспорта и связи) в сопоставимых ценах 1990 г. в году t .

Эконометрическое исследование функции (1) проведено методом наименьших квадратов на основе статистических данных Росстата и Российского экономического барометра (*таблица 1*). Перевод среднегодовой стоимости основных фондов чистых отраслей транспорта и связи в сопоставимые цены 1990 г. осуществлялся на основе статистических данных Росстата по авторской методике, изложенной в работах [14, 15]. Следует отметить, что в отличие от работы [14] авторы используют несколько измененное значение показателя среднегодовой стоимости основных фондов чистых отраслей транспорта и связи в сопоставимых ценах 1990 г. за 2008–2012 гг., что связано с уточнением индекса переоценки основных фондов в 2008–2009 гг. Кроме того, ввиду уточнения среднегодового индекса цен на продукцию инвестиционного назначения по России за 2017 год, равного 1,026, в отличие от работы [15] авторы используют уточненный показатель среднегодовой стоимости основных фондов народного хозяйства в сопоставимых ценах 1990 г. за 2017 год. В связи с изменением в 2016 году методики расчета Росстатом среднегодовой численности занятых в народном хозяйстве, с целью правильного сопоставления с данными за предыдущие годы значения показателя за 2017–2018 гг. рассчитаны авторами по среднегодовым темпам роста за 2017 и 2018 годы [15, 16].

¹ Под основными фондами чистых отраслей транспорта и связи понимаются основные фонды транспорта и связи всех хозяйствующих единиц, вне зависимости от их отраслевой принадлежности. Именно фонды чистых отраслей отражаются в балансе основного капитала, составляемого Росстатом

Таблица 1.
Статистические данные
для эконометрического исследования
за 1990–2018 гг.

Год	Y_t , млрд руб.	K_t , млн руб.	z_t	L_t , тыс. чел.	I_t , млн руб.
1990	644	1 871 649	100	75 325	251 548
1991	612	1 957 288	100	73 848	265 806
1992	523	2 009 054	73	72 071	277 320
1993	478	2 030 396	74	70 852	283 913
1994	417	2 014 984	61	68 484	288 435
1995	400	1 995 229	60	66 441	289 518
1996	386	1 983 823	54	65 950	289 351
1997	391	1 967 098	54	64 639	289 427
1998	371	1 953 216	55	63 642	289 773
1999	394	1 953 747	62	63 963	290 439
2000	434	1 962 932	66	64 517	291 581
2001	456	1 976 006	69	64 980	295 215
2002	477	1 993 845	70	65 574	301 557
2003	512	2 015 564	73	65 979	309 364
2004	549	2 040 209	74	66 407	318 011
2005	584	2 074 736	76	66 792	327 755
2006	632	2 119 496	78	67 174	340 138
2007	686	2 169 707	80	68 019	353 854
2008	722	2 229 842	77	68 474	367 701
2009	665	2 292 706	65	67 463	383 787
2010	695	2 350 079	72	67 577	402 597
2011	725	2 416 816	78	67 727	419 318
2012	750	2 499 424	79	67 968	439 598
2013	760	2 581 327	78	67 901	468 506
2014	765	2 644 159	77	67 813	496 133
2015	744	2 673 133	75	68 389	520 271
2016	742	2 696 319	77	68 430	539 786
2017	753	2 730 170	79	68 127	557 465
2018	771	2 762 511	78	68 016	572 441

Источники: данные за 1990–2012 гг. [14] с уточнениями за 2008–2012 гг., данные за 1990–2017 гг. [15] с уточнениями за 2017 г., данные за 2018 г. [16–18], Росстат (база данных ЕМИСС), расчеты авторов по методике [14, 15].

2. Результаты эконометрического исследования

В результате эконометрического исследования функции (1) в расширенных временных промежутках 1990–2018 гг. было установлено, что эта функция достаточно адекватно описывает процесс расширенного воспроизводства народного хозяйства России как с точки зрения экономической теории, так и с точки зрения канонических критериев эконометрики (таблица 2).

На основе приведенной таблицы отметим следующее.

1. Знаки при коэффициентах производственной функции согласуются с положениями экономической науки.

2. Все аргументы функции, т.е. факторы производства, являются статистически значимыми.

3. Высокие значения коэффициентов детерминации R^2 (0,91–0,94) говорят о наличии очень тесной статистической связи между ВВП России и факторами производства (основными фондами, численностью занятых и основными фондами инфраструктуры).

4. Попадание статистики Дарбина–Ватсона DW в зону положительной автокорреляции хотя и снижает степень верификации модели, но в то же время свидетельствует о влиянии на ВВП России других неучтенных факторов, таких как мировая цена на нефть, что отражено авторами в работе [15].

Более того, производственная функция (1) имеет достаточно хорошую прогнозную силу на временном интервале 2005–2018 гг. Так, направление динамики *ex-post* прогнозного ВВП России почти везде совпадает с направлением динамики фактического ВВП (рисунок 1), а ошибки *ex-post* прогноза, вычисляемые по формуле: $APE_t = |Y_{t(прогноз)} / Y_{t(факт)} - 1|$, за исключением двух лет не превышают 11% (рисунок 2).

3. Выводы из результатов эконометрического исследования

На основании результатов эконометрического исследования (таблица 2) можно сделать следующие выводы.

1. Эластичность ВВП России по инфраструктуре γ , характеризующая вклад инфраструктуры в воспроизводство ВВП, возростала в 2003–2009 гг. с 0,03 до 0,74 и снижалась в 2009–2018 гг. с 0,74 до 0,23 (рисунок 3).

Таблица 2.

Результаты эконометрического исследования производственной функции народного хозяйства России с учетом инфраструктуры (1) за 1990–2018 гг.

Временной промежуток	Коэффициенты и t -статистики (в скобках)			R^2	DW
	α	β	γ		
1990–2003	-7,84 (-2,27)	0,83 (10)	0,03 (0,10)	0,91	2,10
1990–2004	-11,15 (-4)	0,87 (11)	0,28 (1,25)	0,91	1,99
1990–2005	-12,94 (-6)	0,89 (11)	0,42 (2,27)	0,92	1,93
1990–2006	-14,18 (-7)	0,90 (12)	0,52 (3)	0,93	1,88
1990–2007	-15,09 (-9)	0,91 (12)	0,59 (4)	0,94	1,83
1990–2008	-16,13 (-11)	0,91 (12)	0,67 (6)	0,95	1,71
1990–2009	-17,01 (-14)	0,89 (12)	0,74 (7)	0,95	1,53
1990–2010	-16,36 (-16)	0,89 (12)	0,69 (8)	0,96	1,69
1990–2011	-15,29 (-14)	0,89 (10)	0,61 (7)	0,95	1,33
1990–2012	-14,28 (-13)	0,86 (9)	0,53 (5)	0,94	1,01
1990–2013	-13,40 (-13)	0,85 (8)	0,47 (5)	0,94	0,82
1990–2014	-12,67 (-12)	0,85 (8)	0,41 (4)	0,93	0,70
1990–2015	-11,97 (-12)	0,87 (8)	0,35 (4)	0,93	0,64
1990–2016	-11,31 (-12)	0,88 (8)	0,30 (3)	0,92	0,57
1990–2017	-10,80 (-11)	0,88 (7)	0,25 (3)	0,91	0,50
1990–2018	-10,46 (-11)	0,88 (7)	0,23 (2,3)	0,91	0,47

2. Снижение значений t -статистик коэффициента при инфраструктуре γ в течение 2010–2018 гг. в 3,5 раза (с 8 до 2,3) свидетельствует об ослаблении статистической значимости инфраструктуры и, следовательно, ее влияния на расширенное воспроизводство ВВП России.

Одним из важных факторов, указывающих на снижение с 2009 года роли транспортно-коммуни-

млрд руб., 1990 г.

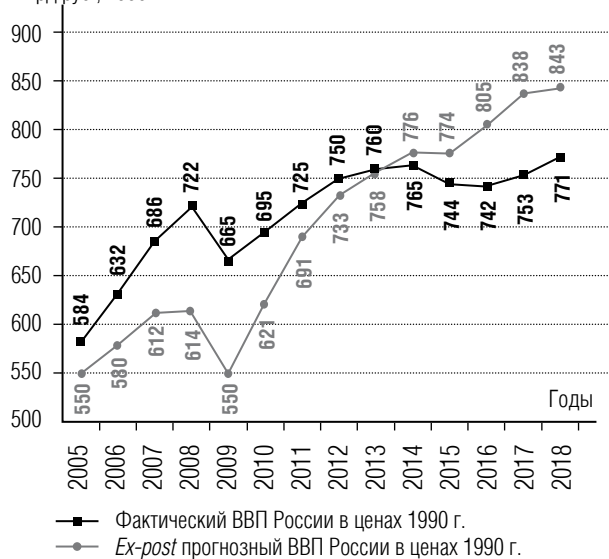


Рис. 1. Фактический и ex-post прогнозируемый на 2005–2018 гг. ВВП России в сопоставимых ценах 1990 г. по функции (1), исследованной в 1990–2004 гг.

Ошибка APE

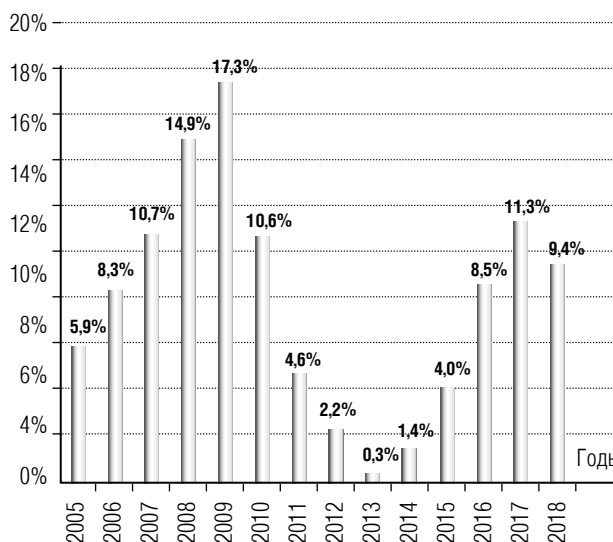


Рис. 2. Ошибки ex-post прогноза APE на 2005–2018 гг. ВВП России в сопоставимых ценах 1990 г. по функции (1), исследованной в 1990–2004 гг.

кационной инфраструктуры в экономике России является уменьшение веса (тоннажа) перевозимых грузов всеми видами транспорта в 2009–2018 гг. (рис. 4). Так, в 2003–2008 гг. тоннаж возрос с 8,8 до 9,5 млрд тонн, в 2009 году он упал до 7,5 млрд. тонн и, хотя в последующие 2010–2018 годы вес перевозимых грузов стал расти, он не смог достигнуть даже уровня 2003 года.

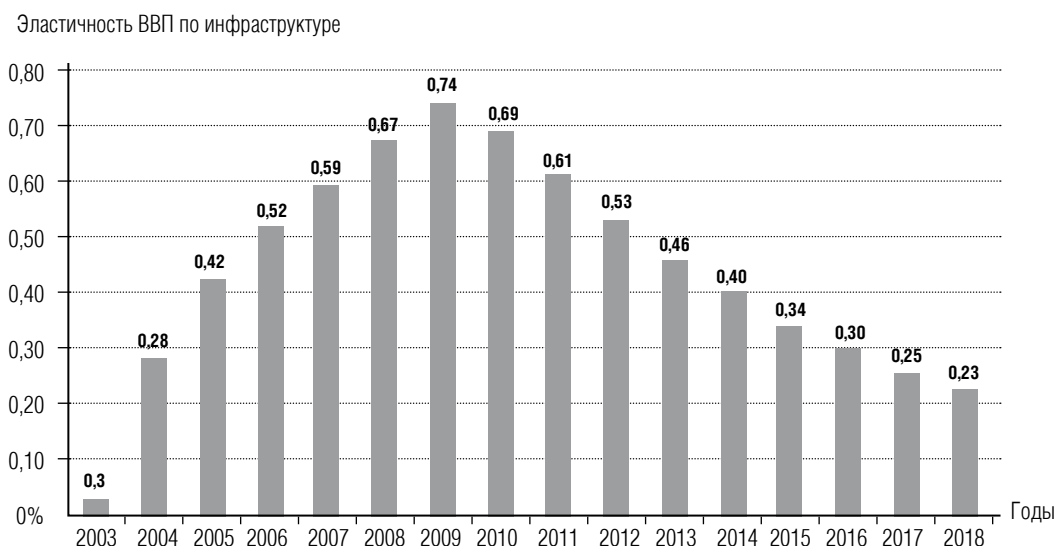


Рис. 3. Эластичность ВВП России по инфраструктуре γ в 2003–2018 гг. (таблица 1)

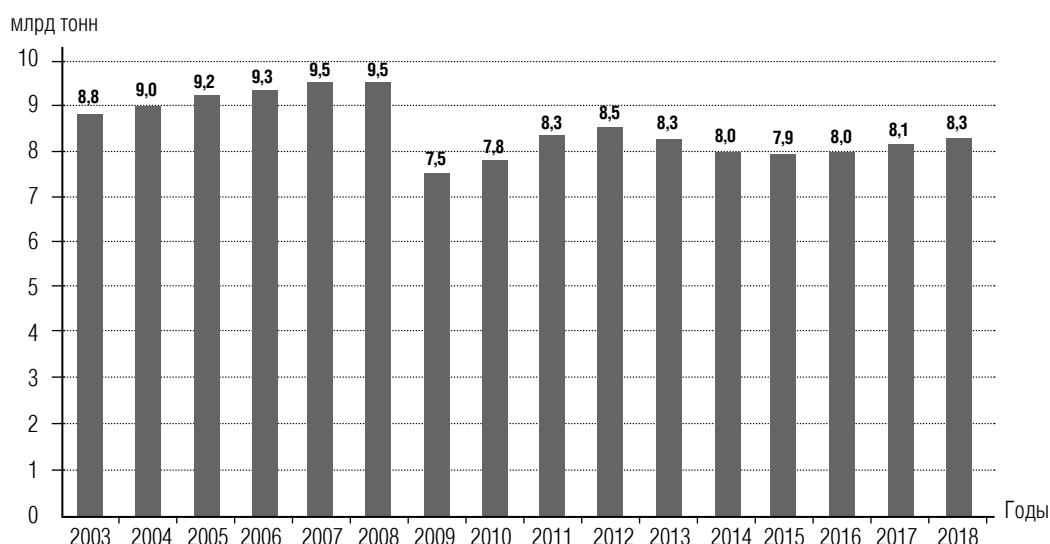


Рис. 4. Перевозки грузов всеми видами транспорта Российской Федерации в 2003–2018 гг.
Источник: Росстат (база данных ЕМИСС)

В чем же причины снижения роли и значимости инфраструктуры в расширенном воспроизводстве экономики России в 2009–2018 годах? На наш взгляд, основная причина такого снижения — сокращение объемов капитальных вложений в транспортно-коммуникационную инфраструктуру России. В самом деле, в 2003–2009 годах среднегодовой физический индекс инвестиций в основной капитал чистых отраслей транспорта и связи составлял 117,2%, а в 2010–2018 гг. — всего лишь 99,4% (рассчитано авторами на основе данных *рисунка 5*).

Таким образом, мы видим, что на сегодняшний день транспортно-коммуникационная инфраструктура российской экономики нуждается в значительных капитальных вложениях, направленных на ее эффективную модернизацию и устойчивое развитие. Это, в свою очередь, будет способствовать ускорению роста и устойчивому развитию всего народного хозяйства России.

Между тем, с начала 2020 года движение к устойчивому развитию и ускорение экономического ро-

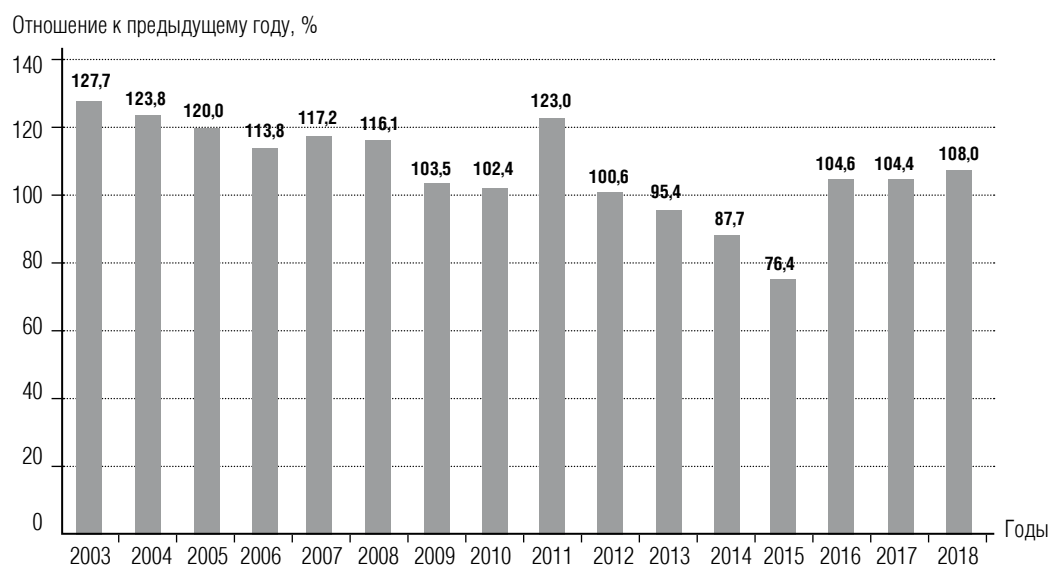


Рис. 5. Индекс физического объема инвестиций в основной капитал по всем организациям чистых отраслей транспорта и связи России в 2003–2018 гг. Источники: Росстат (база данных ЕМИСС) и расчеты авторов за 2017–2018 гг.

ста как российской, так и мировой экономики были подорваны широким распространением коронавирусной болезни (КОВИД-19), возбудителем которой является передающийся от человека к человеку уханьский коронавирус (*Wuhan coronavirus*) [22, 23]. Это второй коронавирус тяжелого острого респираторного синдрома (*SARS-CoV-2*), впервые появившийся на рынке морепродуктов китайского города Ухань в декабре 2019 года. Далее мы будем использовать термин «уханьский коронавирус», который наряду с терминами *SARS-CoV-2*, *COVID-19*, *2019-nCoV*, *Wuhan seafood market pneumonia virus* («вирус пневмонии уханьского рынка морепродуктов») является общеупотребительным в научной литературе [22], служит изначальным названием этого нового коронавируса (предложенного китайскими исследователями [22], в том числе авторами из Китайской академии наук [23]) и является понятным для широкого круга читателей, не имеющих специального медицинского образования.

Уханьский коронавирус, начавший (согласно официальным данным) активно распространяться в России с конца февраля 2020 года, в условиях отсутствия специфических противокоронавирусных препаратов, антикоронавирусной вакцины и (на начальном этапе) достаточного количества средств индивидуальной противоинфекционной защиты привел к потерям среди населения и вынудил российские органы государственной власти вводить (начиная с марта 2020 года) ограничения различной

жесткости на передвижение людей, общение между ними, а также хозяйственную деятельность предприятий и организаций. Эти меры, с одной стороны, способствовали замедлению распространения уханьского коронавируса среди населения, а с другой — нанесли определенный урон народному хозяйству России. В связи с этим представляется актуальным модифицировать макроэкономическую производственную функцию России с учетом распространения уханьского коронавируса и последовавших за этим эпидемических ограничений.

4. Модификация модели с учетом распространения уханьского коронавируса в 2020 году

В работах одного из авторов статьи была построена и исследована методом наименьших квадратов эконометрическая модель весенней фазы суточного распространения уханьского коронавируса в России (от 10 мая 2020 г. [20–21]) и в городе Москве (от 26 апреля 2020 г. [19])

$$y_T = e^{aT^2 + bT + c}, \quad (2)$$

где y_T — количество зараженных уханьским коронавирусом людей за сутки;

T — время (сутки);

e — основание натурального логарифма.

Результаты исследования приведены в *табли-*

Таблица 3.

**Результаты эконометрического исследования
квадратичной экспоненциальной функции Гаусса (2)
суточной численности зараженных уханьским коронавирусом
людей в городе Москве и по России в целом весной 2020 года**

№	Временной промежуток	Кoeffициенты (<i>t</i> -статистики)			R^2	DW	Прогноз на 2020 г. пика суточного заражения		Прогноз на 2020 г. наступления нулевого (единичного) суточного заражения	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>			дата	число зараженных, чел.	дата	общее число зараженных с начала эпидемии, тыс. чел.
Москва										
1	12.03–11.04	–0,0025 (–1,43)	0,2788 (5)	0,8896 (2,23)	0,88	2,70	6.05	5821	7.07	206,5
15	12.03–25.04	–0,0030 (–5)	0,2935 (11)	0,8158 (3)	0,93	2,68	29.04	3080	23.06	100,6
Россия										
2	2.03–1.05	–0,0018 (–14)	0,2648 (31)	0,3659 (2,79)	0,99	1,07	13.05	11618	28.07	484,9

Источники: [19–21] (нумерация функций сохранена как в первоисточниках)

це 3. На основе исследованных функций в работах [19–21] даны прогнозы суточной численности зараженных коронавирусом жителей на периоды со 2 мая по конец июля 2020 года (Россия, рисунки 6 и 7) и с 26 апреля по начало июля 2020 года (Москва, рисунки 8 и 9).

Как видно из рисунка 6, функция 2 (таблица 3) показала прогнозную дату пиковой численности зараженных уханьским коронавирусом граждан России (13 мая 2020 г., 11618 чел.) через два дня после достижения фактического пика (11 мая 2020 г., 11656 чел.).

На основе функции 1 (таблица 3, рисунок 8) был спрогнозирован пик числа инфицированных москвичей 6 мая 2020 г. (5821 чел.), т.е. за день до наступления пика фактической заболеваемости 7 мая (6703 чел.), с ошибкой в численности заразившихся жителей Москвы равной 13% (рисунок 9). Исследованные в работах [19–21] функции вида (2) позволили спрогнозировать суточную численность зараженных уханьским коронавирусом граждан России на 30 дней вперед, на 2–31 мая 2020 г., со среднеарифметической ошибкой APE в 10,4% (рисунки 6–7, таблица 3) и жителей Москвы на пять недель вперед, на 26 апреля – 1 мая (функция 15, таблица 3) и 2–29 мая 2020 г. (функция 1, таблица 3), со среднеарифметической ошибкой APE в 10% (рисунки 8–9), где

$$APE = \sum_{T=1}^m APE_T, APE_T = |y_{T(\text{прогнозная})} / y_{T(\text{фактическая})} - 1|,$$

m – число суток прогнозного периода.

Особенностью методологии эконометрического прогнозирования на основе функции (2) является то, что степень точности и научной обоснованности прогноза, а также доверия к нему зависит не только от правильно выбранного вида функциональной зависимости, но и от того, каким количеством оцененных функций подтверждается прогноз. Так, степень доверия к прогнозу выше, если одинаковые или близкие значения прогнозируются функцией, оцененной не на одном временном промежутке, а на нескольких. В самом деле, все функции (2) по России (кроме одной), оцененные во временных промежутках со 2 марта по 30 апреля – 10 мая 2020 г., прогнозируют одинаковые даты пиковой суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России – 14 мая 2020 г. Лишь одна из функций (2), исследованная со 2 марта по 1 мая 2020 г., прогнозирует достижение пиковой численности за день до остальных – 13 мая 2020 г., что очень близко к фактической пиковой дате – 11 мая 2020 г. (рисунок 10). Кроме того, все 11 функций прогнозируют очень близкие (в пределах ошибки 5%) значения пиковой суточной численности в пределах 11,6–12,2 тыс. человек, которые очень близки к фактической пиковой численности 11 мая – 11,7 тыс. человек (рисунок 11).

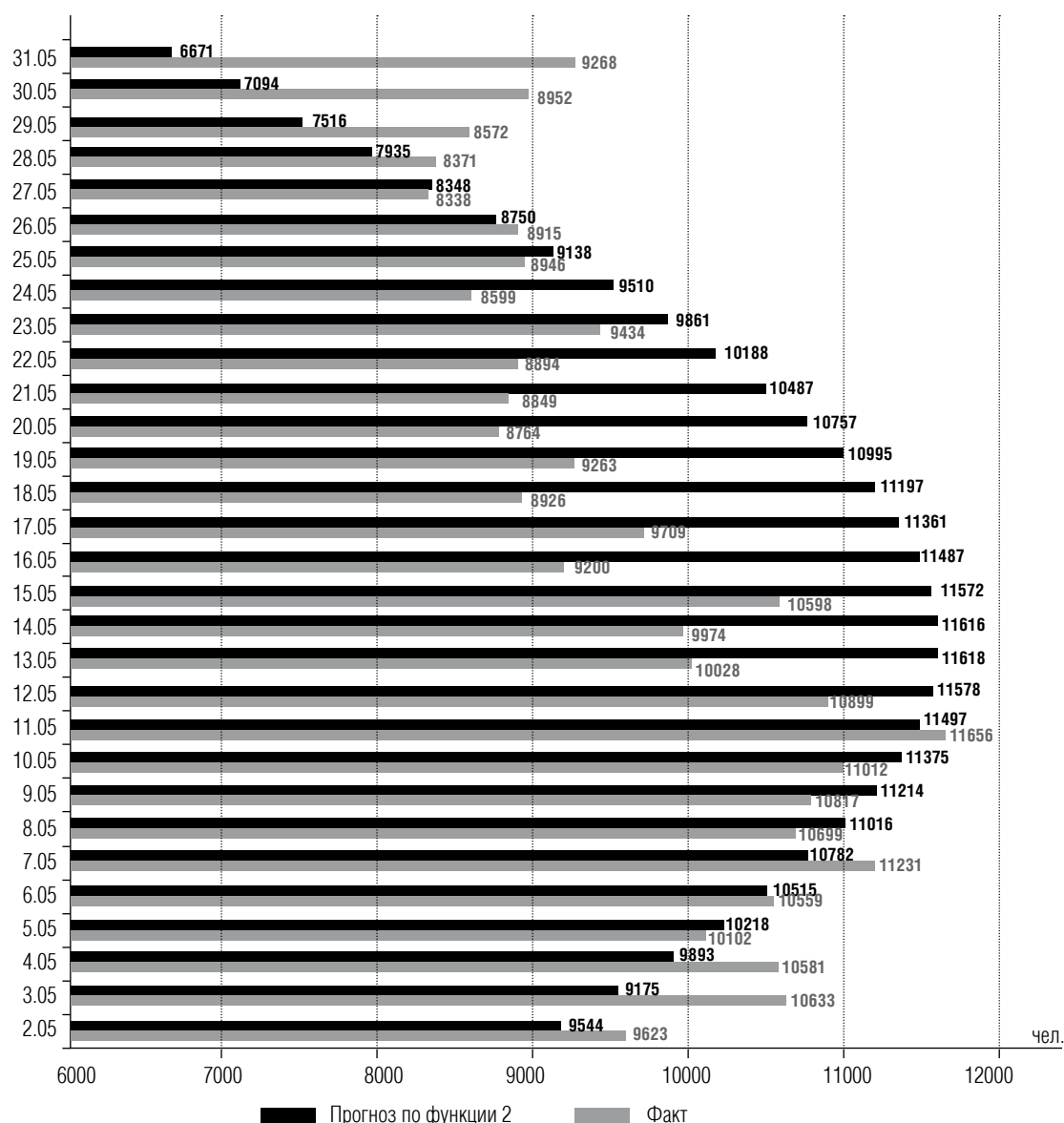


Рис. 6. Фактические и прогнозные на 2–31 мая 2020 г. значения суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функции 2 (таблица 3)
Источники: [19] и стопкоронавирус.рф

Также все рассмотренные функции указали очень близкие даты затухания (наступления нулевых значений) распространения уханьского коронавируса: 28 июля (5 функций) и 29 июля 2020 г. (остальные 6 функций) (рис. 12). Несмотря на то, что коронавирус в России не был побежден в эти даты, произошло существенное затухание его распространения до 5,3–5,4 тыс. чел. в сутки. Отметим, что начавшиеся с первых чисел июня 2020 г. существенные расхождения между прогнозными и фактическими значениями суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России и Москвы были вызваны определенными факторами в середине мая —

начале июня 2020 г., а именно: ослаблением и последующей отменой режима строгой изоляции (продолжительность которого занимала большую часть протяженности временных интервалов эконометрического оценивания функции (2)), а также появлением возможности бесплатного тестирования на уханьский коронавирус и на наличие антител к нему (что привнесло элемент большей случайности в показатель суточной численности заражения).

Несмотря на все это, представляется возможным использовать изложенную выше методологию для прогнозирования осенне-зимней фазы распространения теперь уже официально публикуемых (ре-

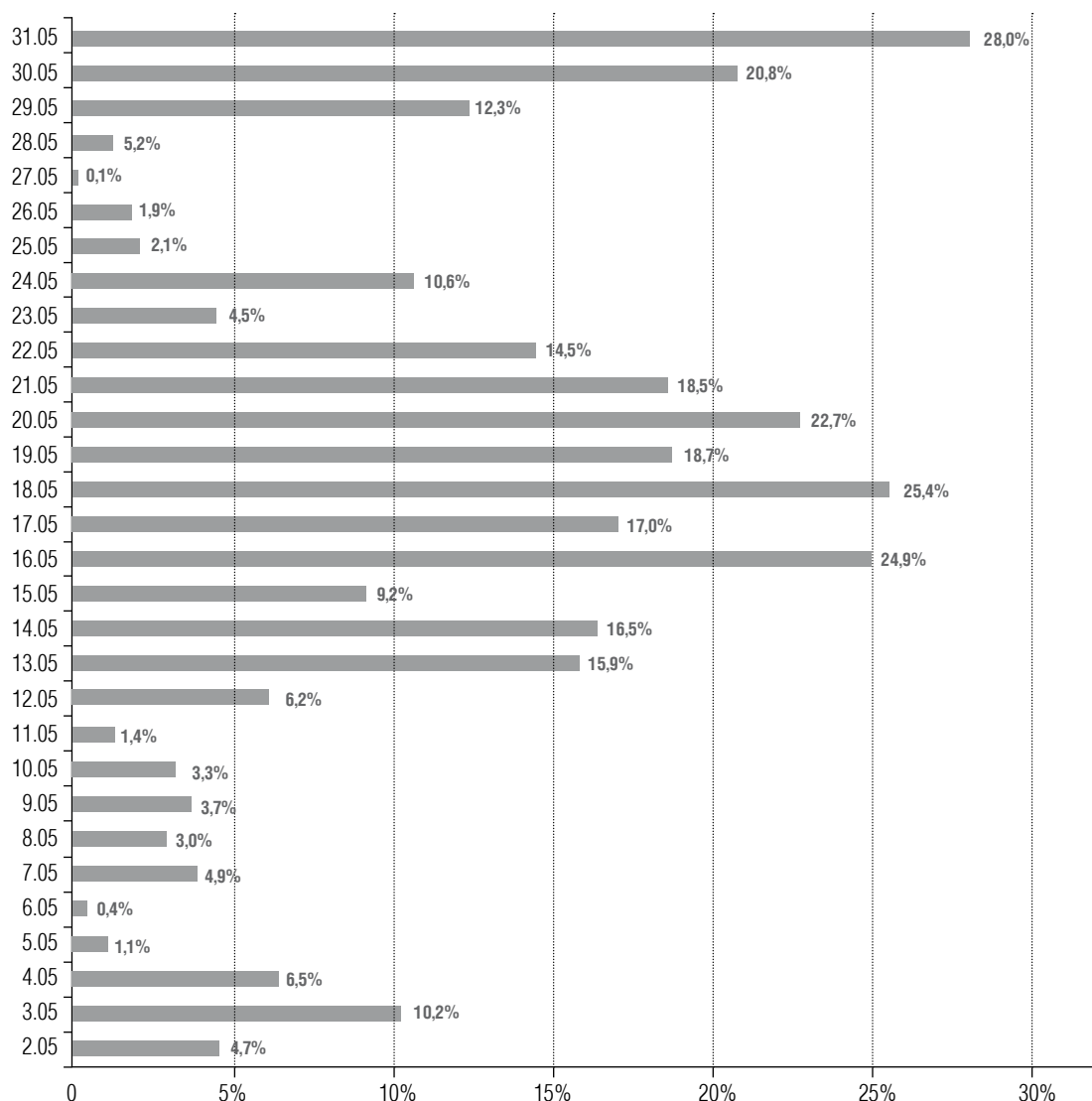


Рис. 7. Ошибки прогноза APE на 2–31 мая 2020 г. значений суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функции 2 (таблица 3 и рисунок 6)

гистрируемых) случаев уханьского коронавируса в России, поскольку после некоторой стабилизации в августе, дальнейшие статистические данные указывают на рост случаев инфицирования этим вирусом. Для начала найдем опорную точку (дату) роста, которой, как можно видеть из статистики, является 22 сентября 2020 г.

Следует отметить, что функции (2) во временных промежутках с 22 сентября по 13 – 31 октября 2020 г. достаточно адекватно с точки зрения классических критериев эконометрики описывают осеннюю динамику официально публикуемой суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России. При этом одна из них (функция 4а), оцененная за период с 22 сентября по 16 октября, наиболее

точно прогнозируют динамику численности зараженных с 17 октября по 20 ноября 2020 г. (на 35 дней вперед) со средней ошибкой APE в 6,5% (таблица 4, рисунки 13 и 14). Однако, начиная с 19 ноября, прогнозные ошибки функции 4а начинают расти, а фактические значения с 19 ноября по 2 декабря 2020 г. находятся между прогнозными значениями функций 3а и 4а, приближаясь к прогнозным значениям функции 3а, пик которой ожидается 22–23 ноября 2020 г. в количестве 26211 чел. (рисунки 13 и 14). Средняя ошибка прогноза APE на 19 ноября – 2 декабря (на 14 дней вперед) по функции 3а составляет 5,3%. Таким образом, функции 3а и 4а образуют прогнозный коридор со среднеарифметической ошибкой прогноза APE на 7 недель, не превышающей 7%.

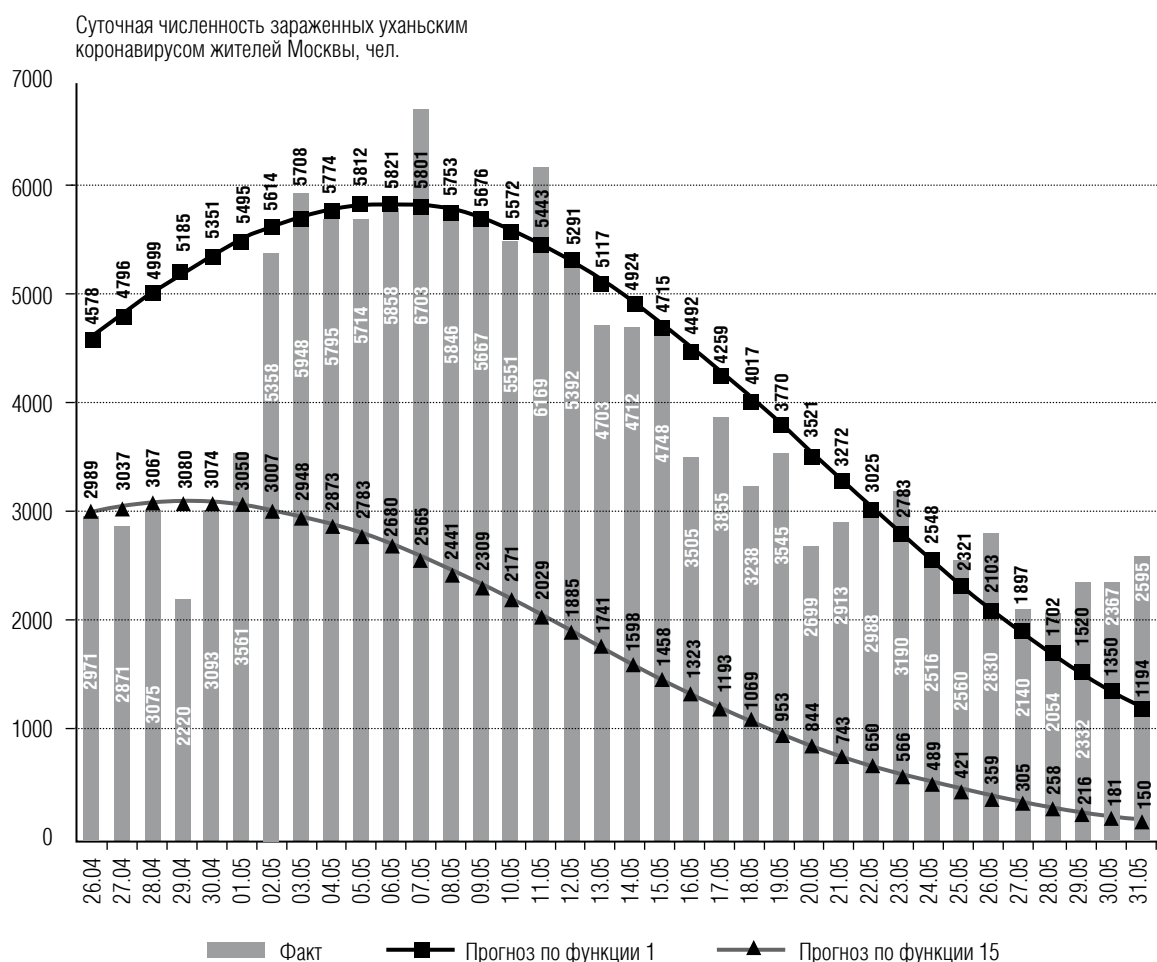


Рис. 8. Фактические и прогнозные на 26 апреля – 31 мая 2020 г. значения суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей Москвы по функциям 1 и 15 (таблица 3)
Источники: [19–21] и стопкоронавирус.рф

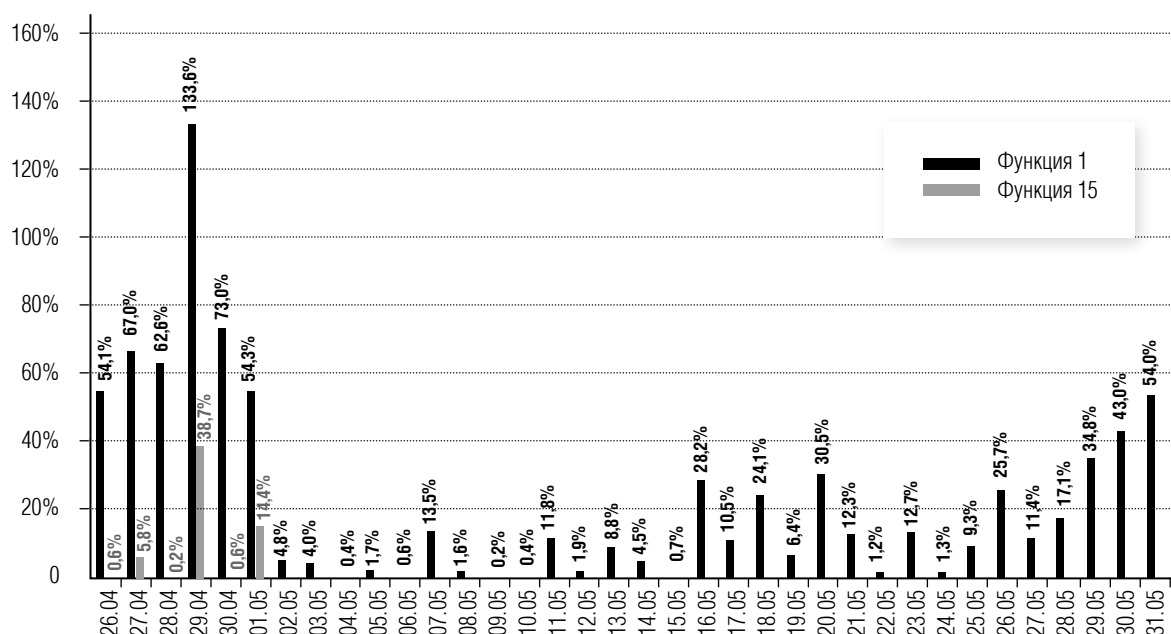


Рис. 9. Ошибки прогноза APE на 26 апреля – 31 мая 2020 г. значений суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей Москвы по функциям 1 и 15 (таблица 3, рисунок 8, [19])

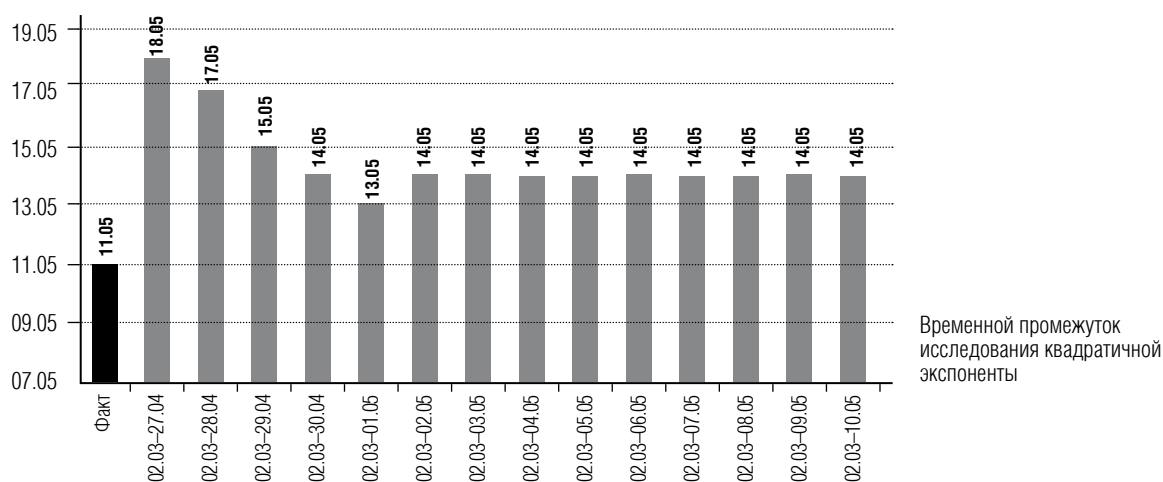


Рис. 10. Фактическая и прогнозные даты пиковой численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функции 2, исследованной во временных промежутках с 2 марта по 27 апреля – 10 мая 2020 г. Источник: [19]

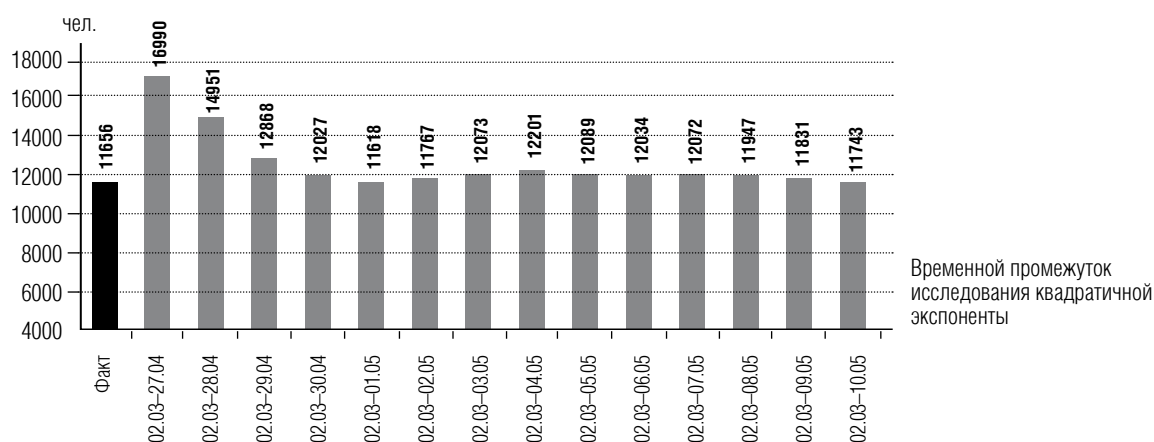


Рис. 11. Фактическая и прогнозная пиковая численность зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функции 2, исследованной во временных промежутках с 2 марта по 27 апреля – 10 мая 2020 г. Источник: [19]

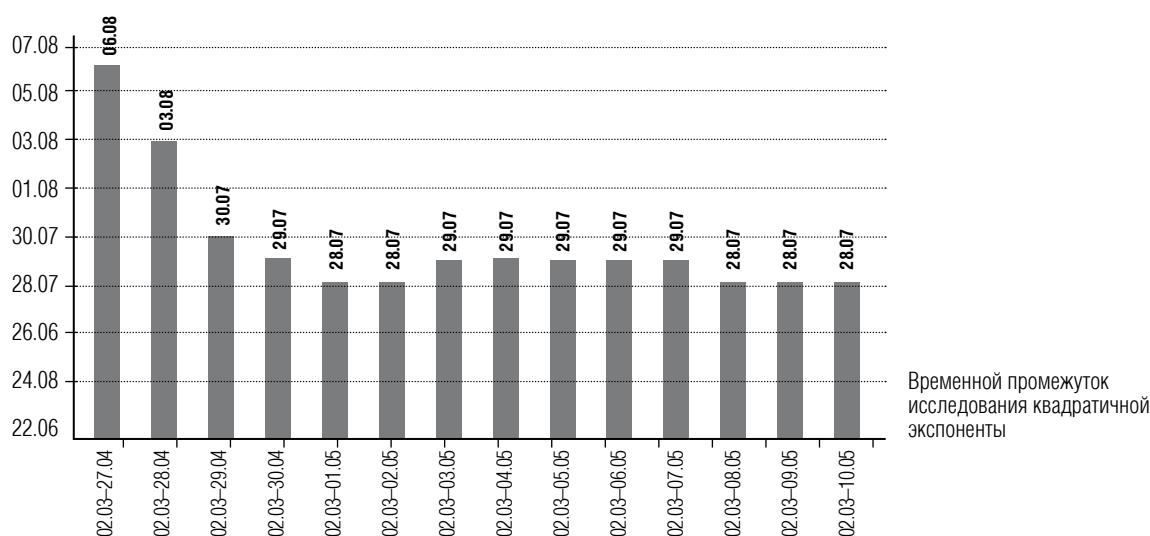


Рис. 12. Прогнозные даты наступления нулевых (единичных) значений численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функции (2), исследованной во временных промежутках с 2 марта по 27 апреля – 10 мая 2020 г. Источник: [19]

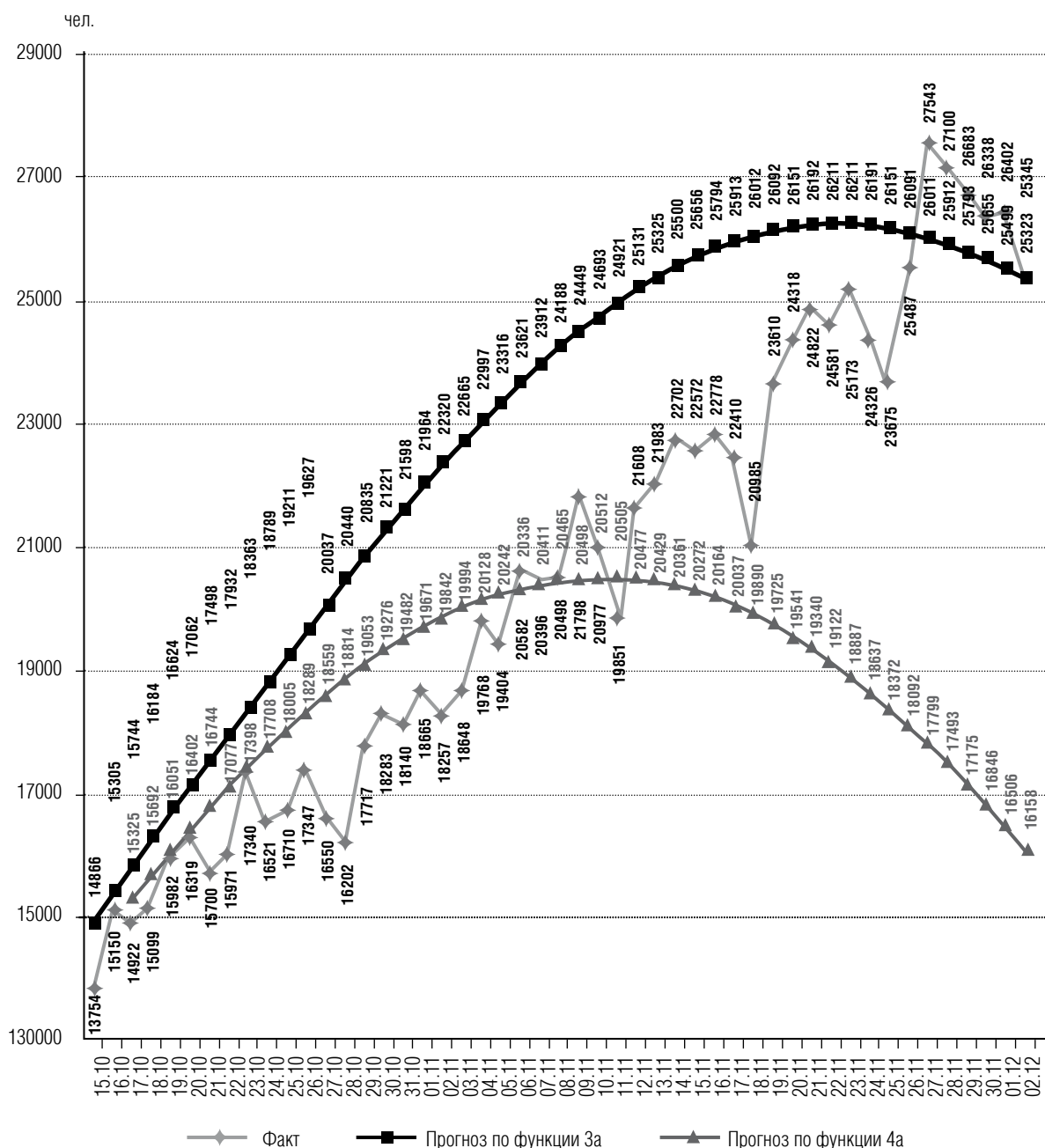


Рис. 13. Фактические значения и прогнозные на 15 октября – 2 декабря 2020 г. значения официально публикуемой суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функциям 3а и 4а (таблица 4)

Таким образом, функцию (2) можно использовать для дальнейшего прогнозирования. Согласно прогнозам по этой функции (таблица 4), осенне-весенняя фаза распространения уханьского коронавируса в России может достигнуть своего пика 31 октября – 10 ноября 2020 года (17,1–20,5 тыс. чел./сут.) и стихнуть к 4 марта – 5 апреля 2021 г., при общей численности зараженных 2,2–2,6 млн. чел. (функции 4а–6а из таблицы 4, рисунок 15).

При худших сценариях официально публикуемая пиковая численность может составить 26–30 тыс. чел. в сутки 23–30 ноября 2020 года, а эпидемия стихнуть к 5–30 мая 2021 г., при общей численности инфицированных 3,4–3,9 млн. чел. (функции 2а–3а из таблицы 4, рисунок 15).

При наиболее худшем варианте прогнозная официально публикуемая пиковая численность может

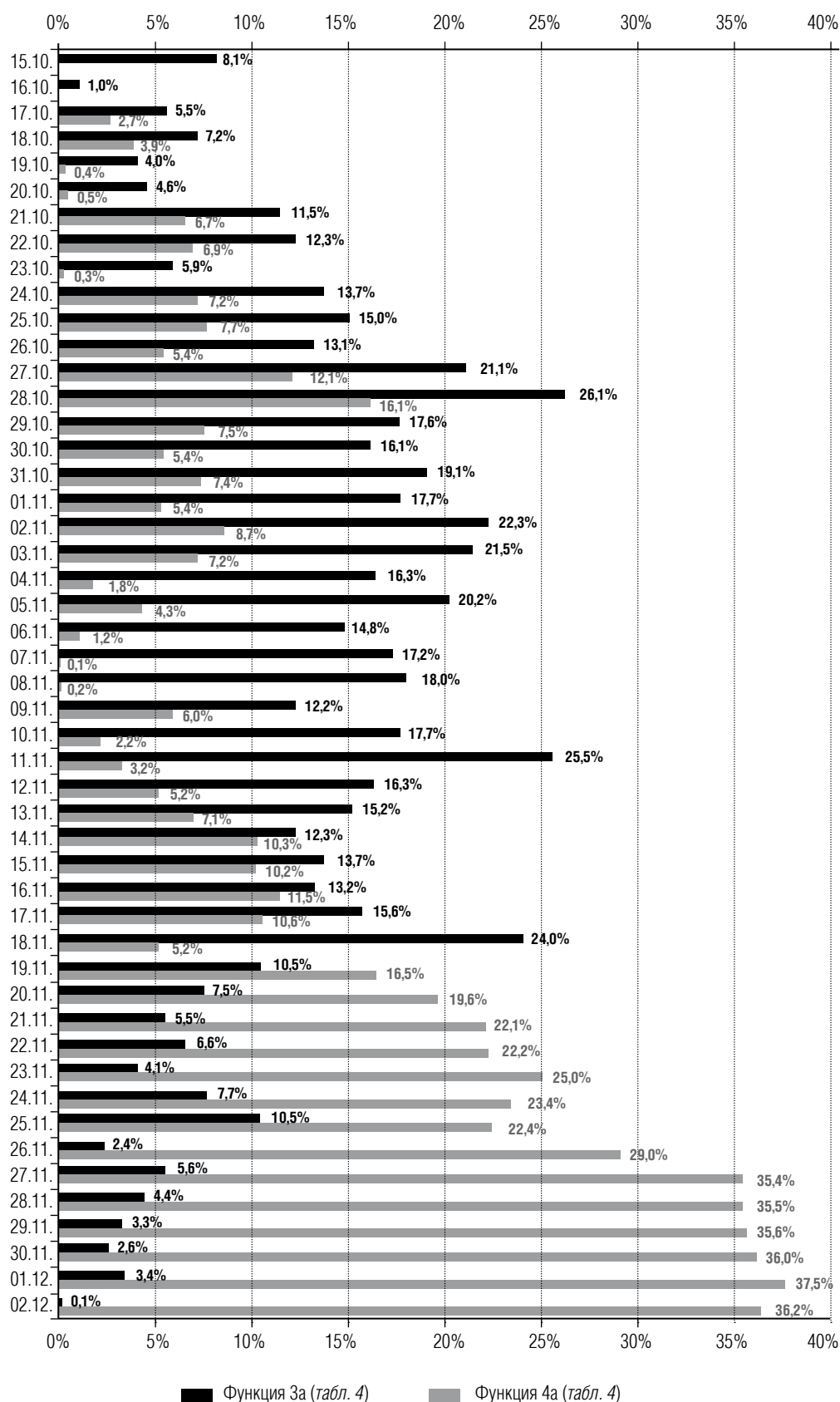


Рис. 14. Ошибки прогноза APE на 15 октября – 2 декабря 2020 г. значений официально публикуемой суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функциям 3а и 4а (рисунок 13)

Таблица 4.

**Результаты эконометрического исследования
квадратичной экспоненциальной функции Гаусса (2)
официально публикуемой суточной численности зараженных
уханским коронавирусом жителей России осенью 2020 г.**

№	Временной промежуток	Коэффициенты (<i>t</i> -статистики)			R^2	DW	Прогноз на 2020 г. пика суточного заражения		Прогноз на 2021 г. наступления нулевого (единичного) суточного заражения	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>			дата	число зараженных, чел.	дата	общее число зараженных с начала эпидемии, млн чел.
1a	22.09–12.10	–0,0003 (–1,75)	0,1613 (2,32)	12,46 (1,66)	0,99	1,39	11.12	38362	29.06	5,0
2a	22.09–13.10	–0,0003 (–2,37)	0,1848 (3)	14,96 (2,26)	0,99	1,36	30.11	30191	30.05	3,9
3a	22.09–14.10	–0,0004 (–3)	0,2040 (4)	17,01 (2,90)	0,99	1,33	22.11 23.11	26211	5.05	3,4
4a	22.09–16.10	–0,0005 (–4)	0,2540 (5)	22,35 (4)	0,99	1,51	10.11	20512	5.04	2,6
5a	22.09–19.10	–0,0006 (–7)	0,2803 (8)	25,17 (6)	0,99	1,57	6.11	18892	23.03	2,4
6a	22.09–28.10	–0,0007 (–15)	0,3350 (16)	31,12 (14)	0,99	1,56	31.10	17150	4.03	2,2

Источник статистических данных для эконометрического исследования:
Коммуникационный центр Правительства Российской Федерации (стопкоронавирус.рф)

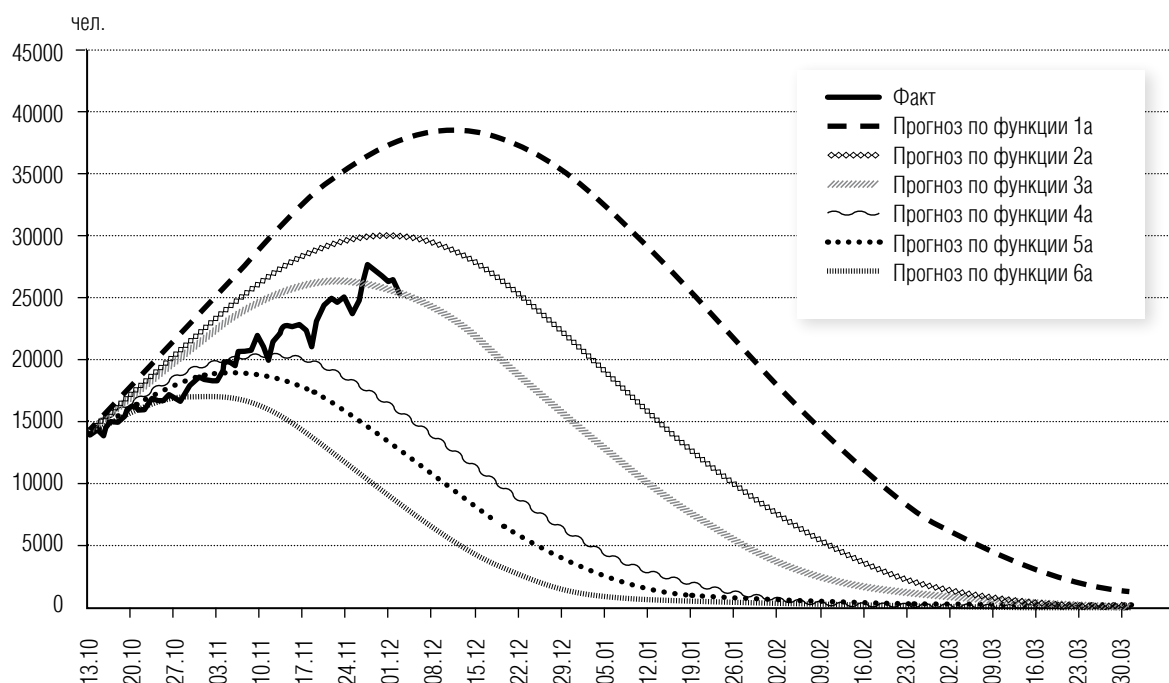


Рис. 15. Фактические значения (с 13 октября по 2 декабря 2020 г.) и прогнозные на 13 октября 2020 г. – 31 марта 2021 г. значения официально публикуемой суточной численности зараженных уханским коронавирусом жителей России (таблица 4)

достичь 38 тыс. чел. в сутки 11 декабря 2020 г., а распространение второй фазы вируса остановиться 29 июня 2021 г. на общем числе зараженных 5 млн. чел. (функция 1а из таблицы 4, рисунок 15).

Нам представляется, что прогнозные значения суточной численности зараженных уханьским коронавирусом граждан России могут послужить входным параметром модифицированной производственной функции.

Распространение уханьского коронавируса в России снизило, в первую очередь, уровень использования почти всех факторов производства: основных фондов — ввиду временного закрытия многих предприятий и организаций с 25 марта по 11 мая 2020 г., рабочей силы — из-за вынужденной изоляции части жителей по причине заболеваемости коронавирусной болезнью или близких контактов с вирусоносителями, транспортной части инфраструктуры — вследствие сокращения числа рейсов пассажироперевозок воздушным, железнодорожным и морским видами транспорта. Единственным фактором производства, степень использования которого резко возросла в период ограничительных мер по коронавирусу и перехода большинства людей в удаленный режим общения и работы при помощи средств связи, является коммуникационная часть инфраструктуры.

Таким образом, модифицированный вид народнохозяйственной производственной функции России с учетом коронавирусных ограничений в 2020 г. будет выглядеть следующим образом:

$$Y_t = e^{\alpha} (z_t K_t)^{\beta} (v_t L_t)^{1-\beta} (w_{Ti} I_{Ti} + w_{Ci} I_{Ci})^{\gamma},$$

где v_t — среднегодовой уровень загрузки рабочей силы в году t ;

I_{Ti} — транспортная составляющая инфраструктуры в году t ;

I_{Ci} — коммуникационная составляющая инфраструктуры году t ;

w_{Ti} — среднегодовой уровень загрузки транспортной составляющей инфраструктуры в году t ;

w_{Ci} — среднегодовой уровень загрузки коммуникационной составляющей инфраструктуры в году t .

Можно предположить, что среднемесячный уровень загрузки рабочей силы v_t в месяце τ будет представлять собой некоторую функцию F — функцию строгой изоляции, включающую количество людей заболевших коронавирусной болезнью и лиц, контактировавших с ними. Все эти люди полностью

или частично являются нетрудоспособными из-за болезни или карантина. Функция возрастает по суммарному за месяц τ количеству инфицированных уханьским коронавирусом людей:

$$v_{\tau} = F \left(\sum_{T=1}^n y_{\tau, T} \right),$$

где $y_{\tau, T}$ — количество инфицированных уханьским коронавирусом людей в сутки T месяца τ ;

n — число дней в месяце τ .

Среднемесячный уровень загрузки производственных мощностей (основных фондов) z_t в месяце τ будет описываться кусочно-линейной функцией в зависимости от ограничений на работу предприятий и организаций, которые ужесточаются в зависимости от превышения показателя суточной численности инфицированных людей $y_{\tau, T}$ некоторых эпидемических порогов и ослабляются в зависимости от падения этого показателя ниже пороговых значений:

$$z_{\tau} = z(y_{\tau, T}) = \begin{cases} z_0, & y_{\tau, T} < \tilde{y}_0 \\ z_1, & \tilde{y}_0 \leq y_{\tau, T} \leq \tilde{y}_1 \\ z_2, & \tilde{y}_1 \leq y_{\tau, T} \leq \tilde{y}_2 \\ z_3, & y_{\tau, T} > \tilde{y}_2 \end{cases}$$

где $\tilde{y}_i$ — эпидемические пороги суточной численности инфицированных уханьским коронавирусом людей в соответствии с тремя этапами коронавирусных ограничений в России, разработанных Роспотребнадзором, $i = 1, 2, 3$. При этом z_0 соответствует докоронавирусному уровню загрузки производственных мощностей. Очевидно, что $z_0 > z_1 > z_2 > z_3$, т.е. функция убывает по количеству заразившихся уханьским коронавирусом людей и значениям эпидемических порогов.

Такой же кусочно-линейный вид будет иметь функция среднемесячного уровня загрузки транспортной составляющей инфраструктуры w_{Ti} , она также будет убывать по численности инфицированных людей.

Что касается функции среднемесячного уровня загрузки коммуникационной составляющей инфраструктуры w_{Ci} , то она, наоборот, будет возрастать по количеству инфицированных уханьским коронавирусом людей и эпидемическим порогам:

$$w_{C\tau} = w_{C\tau}(y_{\tau,T}) = \begin{cases} w_{C3}, y_{\tau,T} > \tilde{y}_2 \\ w_{C2}, \tilde{y}_1 \leq y_{\tau,T} \leq \tilde{y}_2 \\ w_{C1}, \tilde{y}_0 \leq y_{\tau,T} \leq \tilde{y}_1 \\ w_{C0}, y_{\tau,T} < \tilde{y}_0 \end{cases},$$

т.е. $w_{C0} < w_{C1} < w_{C2} < w_{C3}$, где $\tilde{y}_i$ — эпидемические пороги суточной численности инфицированных уханьским коронавирусом людей в соответствии с тремя этапами коронавирусных ограничений в России, $i = 1, 2, 3$.

Среднегодовые значения показателей загрузки факторов производства вычисляются как средние арифметические значения месячных показателей:

$$z_t = \frac{1}{12} \sum_{\tau=1}^{12} z_{\tau}, v_t = \frac{1}{12} \sum_{\tau=1}^{12} v_{\tau}, w_{Tt} = \frac{1}{12} \sum_{\tau=1}^{12} w_{T\tau}, w_{Ct} = \frac{1}{12} \sum_{\tau=1}^{12} w_{C\tau}.$$

Заметим, что в условиях эпидемии уханьского коронавируса и связанных с ней ограничительных мер возрастает роль коммуникационной составляющей инфраструктуры $w_{Ct} I_{Ct}$, которая в определенной степени вынужденно замещает ее транспортную составляющую $w_{Tt} I_{Tt}$.

Заключение

Мы провели эконометрическое исследование народнохозяйственной производственной функции российской экономики с учетом транспортно-коммуникационной инфраструктуры, представленной среднегодовой стоимостью основных фондов чистых отраслей транспорта и связи, за 1990–2018 гг. Результаты исследования показали, что в течение 2010–2018 гг. эластичность ВВП России по инфраструктуре снижается, что, по нашему мнению, объясняется сокращением в этот период объемов капитальных вложений в основные фонды инфраструктурных отраслей.

Кроме того, мы предложили модификацию народнохозяйственной производственной функции для 2020 года в условиях распространения среди населения России уханьского коронавируса путем введения в нее среднегодовых уровней использования рабочей силы и загрузки транспортно-коммуникационной инфраструктуры, которые наряду со среднегодовым уровнем загрузки основных фондов являются функциями прогнозных значений суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России. Мы сделали эконометрические прогнозы на осень 2020 — весну 2021 гг. официально публикуемой суточной численности инфицированных жителей России на основе исследованной нами методом наименьших квадратов квадратичной экспоненты Гаусса, зависящей от времени.

Отметим, что модификация народнохозяйственной производственной функции России с учетом распространения уханьского коронавируса в 2020 году нами осуществлена в аналитическом виде. Ее практическая реализация, затрудненная на данный момент отсутствием как годовых, так и части месячных статистических данных за текущий год, представляет собой следующий этап нашего исследования. ■

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-010-00629 А).

Авторы выражают искреннюю благодарность за ценные советы и полезные замечания д.ф.-м.н., проф. Ю.Н. Благовещенскому и д.э.н., проф. Э.Ф. Баранову.

Литература

1. Послание Президента России Федеральному Собранию. Москва, 20 февраля 2019 года. [Электронный ресурс]: <http://kremlin.ru/events/president/news/59863> (дата обращения 01.10.2020).
2. Афанасьев А.А., Пономарева О.С. Некоторые проблемы развития и модернизации производственной инфраструктуры экономики России // Сборник докладов участников секционных заседаний XXI Всероссийского симпозиума «Стратегическое планирование и развитие предприятий». Секция 5 «Проблемы прогнозирования деятельности предприятий». Москва, 10–11 ноября 2020 г. С. 652–654.
3. Дубелирь Г.Д. Планировка городов. СПб: Слово, 1910.
4. Дубелирь Г.Д. Городские улицы и мостовые. Киев: тип. А.М. Пономарева, 1912.
5. Дубелирь Г.Д. Грунтовые дороги, их постройка и уход за ними. СПб.: Слово, 1912.
6. Дубелирь Г.Д., Захаров Г.Ф., Тиль Б.И. Эксплуатация автогужевых дорог / Под ред. проф. Г.Д. Дубелиря/ Ленинград: ОГИС-Гострансиздат, 1934.

7. Дубелир Г.Д., Корнеев Б.Г., Кудрявцев М.Н. Основы проектирования автомобильных дорог. Под ред. проф. Г.Д. Дубелира. Л.—М.: Изд. Наркомхоза РСФСР, 1939.
8. Завельский М.Г. Производственная инфраструктура и экономическое развитие // Проблемы региональной экономики. 2009. Т. 1. С. 77–81.
9. Экспертное заключение на проект строительства международного морского канала Евразия / Н.П. Лаверов и [др.] // Проблемы национальной безопасности: экспертные заключения, аналитические материалы, предложения / Под общ. ред. акад. Н.П. Лаверова. М.: Наука, 2008.
10. Лившиц В.Н., Миронова И.А., Швецов А.Н. Транспортная инфраструктура: эффективность стратегических решений // Проблемы теории и практики управления. 2014. № 7. С. 78–89.
11. Позамантир Э.И. Стратегия развития транспортной инфраструктуры: макроэкономическая оценка вариантов // Аудит и финансовый анализ. 2014. № 1. С. 128–136.
12. Социально-экономическая эффективность развития железнодорожной сети Сибири и Дальнего востока. Математическое моделирование и прогноз / В.А. Садовничий и [др.] // Экономика региона. 2018. Т. 14. № 3. С. 758–777.
13. Макаров В.Л. Экономика знаний: уроки для России // Вестник Российской академии наук. 2003. Т. 73. № 5. С. 450–456.
14. Афанасьев А.А., Пономарева О.С. Производственная функция народного хозяйства России в 1990–2012 гг. // Экономика и математические методы. 2014. Т. 50. № 4. С. 21–33.
15. Афанасьев А.А., Пономарева О.С. Народнохозяйственная производственная функция России в 1990–2017 гг. // Экономика и математические методы. 2020. Т. 56. № 1. С. 67–78.
16. Россия в цифрах. 2019: Краткий статистический сборник. М.: Росстат, 2019.
17. Российский статистический ежегодник. 2019: Статистический сборник. М.: Росстат, 2019.
18. Российский экономический барометр. Квартальный бюллетень. 2020. № 2.
19. Афанасьев А.А. Исполнение эконометрического прогноза суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей г. Москвы (26 апреля – 9 мая 2020 г.). [Электронный ресурс]: <https://istina.msu.ru/conferences/presentations/297636272/> (дата обращения: 15.08.2020).
20. Афанасьев А.А. Эконометрическое прогнозирование суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей г. Москвы за период с марта по июль 2020 г. (версия от 25.04.2020). [Электронный ресурс]: <https://istina.msu.ru/conferences/presentations/294603297/> (дата обращения: 15.08.2020).
21. Афанасьев А.А. Эконометрическое прогнозирование суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей г. Москвы за период с марта по июль 2020 г. (версия от 25.04.2020, сокращенный вариант). [Электронный ресурс]: https://indem.ru/coronavirus/Forecast_CV-19_In_Moscow.pdf (дата обращения: 15.08.2020).
22. COVID-19 infection: Origin, transmission, and characteristics of human coronaviruses / M.A. Shereen [et al.] // Journal of Advanced Research. 2020. No 24. P. 91–98. DOI: 10.1016/j.jare.2020.03.005.
23. Chinese Academy of Sciences. Wuhan coronavirus has strong ability to infect humans. Press release. 21 January 2020. [Электронный ресурс]: https://view.inews.qq.com/w2/20200121A0M08X00?tbkt=F&strategy=&openid=o041BALMrLyGDxbWNOPoD M1IfG-s&uid=&refer=wx_hot (дата обращения 15.08.2020).

Об авторах

Афанасьев Антон Александрович

доктор экономических наук, доцент;

ведущий научный сотрудник лаборатории социального моделирования, Центральный экономико-математический институт Российской академии наук, 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47;

E-mail: aantoni@cemi.rssi.ru

ORCID: 0000-0002-0300-5064

Пономарева Ольга Станиславна

старший научный сотрудник лаборатории институциональной динамики, Центральный экономико-математический институт Российской академии наук, 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47;

E-mail: fondf@cemi.rssi.ru

Wuhan coronavirus spread in Russia: macroeconomic production function in regard to transport and communication infrastructure

Anton A. Afanasiev

E-mail: aanton@cemi.rssi.ru

Olga S. Ponomareva

E-mail: fondf@cemi.rssi.ru

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences
Address: 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia

Abstract

Transport and communication infrastructure plays an important role in ensuring economic growth, also in the context of the Wuhan coronavirus (SARS-CoV-2) spread worldwide. The role of the communication component increases with the epidemic and the associated restrictive measures, which replace, to a certain extent, the transport component. We offer an econometric study of the macroeconomic production function in the Russian Federation with transport and communication infrastructure (the fixed assets average annual value of the Russian transport and communications sectors) for 1990–2018. The arguments for this function are the average annual value of fixed assets in constant 1990 prices, the average annual rate of the use of production capacities in Russian industry, the average annual number of people employed in the national economy, the average annual value of fixed assets of transport and communications in constant 1990 prices. Our research demonstrates that in 2010–2018 the GDP elasticity to production infrastructure was decreasing. We explain this by the reduction in the volume of capital investments in the infrastructure sector's fixed assets. In addition, we offer an analytical modification of the macroeconomic production function for 2020 in the context of the spread of the Wuhan coronavirus among the Russian population by introducing into this function the average annual rates of labor and infrastructure capacity use, which, along with the average annual rate of fixed assets capacity use are functions of the predicted values of the daily number of the infected Russian citizens. These predicted values are calculated by the time dependent Gaussian quadratic exponent estimated by the least squares. We present the accuracy of the forecast results for the 2020 spring trends of the daily number of Russian and Moscow population infected with the Wuhan coronavirus. The average *APE* forecast error for 30 days ahead for Russia is 10.4% and the same for five weeks for Moscow is 10%. Moreover, we make forecasts of the officially published daily number of infected Russian population for fall 2020 – spring 2021.

Key words: econometric study; Russian economy; macroeconomic production function; transport and communication infrastructure; econometric forecasting; Wuhan coronavirus; SARS-CoV-2; COVID-19; rate of use of production factors.

Citation: Afanasiev A.A., Ponomareva O.S. (2020) Wuhan coronavirus spread in Russia: macroeconomic production function in regard to transport and communication infrastructure. *Business Informatics*, vol. 14, no 4, pp. 76–95.
DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.76.95

References

1. The President of Russia (2019) *Message from the President of Russia to the Federal Assembly*. Moscow, Kremlin, 20 February 2019. Available at: <http://kremlin.ru/events/president/news/59863> (accessed 01 October 2020) (in Russian).
2. Afanasiev A.A., Ponomareva O.S. (2020) Some problems of the development and modernization of the Russian economy infrastructure. Proceedings of the *21st Russian Symposium on Strategic Planning and Enterprise Development. Section 5 "Forecasting Problems of the Enterprises' Activities"*. Moscow, 10–11 November 2020, pp. 652–654 (in Russian).
3. Dubelir G.D. (1910) *City planning*. Saint Petersburg: Slovo (in Russian).
4. Dubelir G.D. (1912) *City streets and pavements*. Kiev: A.M. Ponomarev (in Russian).

5. Dubelir G.D. (1912) *Dirt roads, their construction and maintenance*. Saint Petersburg: Slovo (in Russian).
6. Dubelir G.D., Zakharov G.F., Til B.I. (1934) *Operation of carriage roads*. Leningrad: OGIS-Gostransizdat (in Russian).
7. Dubelir G.D., Korneev B.G., Kudryavtsev M.N. (1939) *Fundamentals of road design*. Leningrad, Moscow: Publishing house of the People's Commissariat of the RSFSR (in Russian).
8. Zavel'sky M.G. (2009) Industrial infrastructure and economic development. *Problems of Regional Economics*, vol. 1, pp. 77–81 (in Russian).
9. Laverov N.P., Alekseevsky N.I., Berdnikov S.V., Gliko A.O., Granberg A.G., Danilov-Danilyan V.I., Dynkin A.A., Zemskoy Yu.A., Zolotarev P.S., Ivanter V.V., Kasimov N.S., Leonov Yu.G., Makosko A.A., Matishov G.G., Makhutov N.A., Osipov V.I., Pappe Ya.Sh., Filin B.N., Chalov R.S. (2008) Expertise on the project of construction of Eurasia international sea channel. *Problems of national security: expert opinions, analytical materials, proposals*. Moscow, Nauka (in Russian).
10. Livshits V.N., Mironova I.A., Shvetsov A.N. (2014) Transport infrastructure: effectiveness of strategic decisions. *International Journal of Management Theory and Practice*, no 7, pp. 78–89 (in Russian).
11. Posamantir E.I. (2014) Transport infrastructure development strategy: macroeconomic assessment of options. *Audit and Financial Analysis*, no 1, pp. 128–136 (in Russian).
12. Sadovnichii V.A., Osipov G.V., Akaev A.A., Malkov A.S., Shulgin S.G. (2018) Socio-economic effectiveness of the railway network development in Siberia and the Far East: Mathematical simulation and forecast. *Economy of Region*, vol. 14, no 3, pp. 758–777 (in Russian).
13. Makarov V.L. (2003) Economy of knowledge. Lessons for Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, vol. 73, no 5, pp. 450–456 (in Russian).
14. Afanasiev A.A., Ponomareva O.S. (2014) The aggregate production function of Russian economy in 1990–2012. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 50, no 4, pp. 21–33 (in Russian).
15. Afanasiev A.A., Ponomareva O.S. (2020) The macroeconomic production function of Russia in 1990–2017. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 56, no 1, pp. 67–78 (in Russian).
16. Rosstat (2019) *Russia in figures 2019: Statistical handbook*. Moscow: Rosstat (in Russian).
17. Rosstat (2019) *Russian statistical yearbook 2019: Statistical handbook*. Moscow: Rosstat (in Russian).
18. IMEMO RAS (2020) *Russian Economic Barometer. Quarterly Bulletin*, no 2 (in Russian).
19. Afanasiev A.A. *Execution of the econometric forecast for the daily number of Moscow citizens infected with the Wuhan coronavirus (26 April – 9 May 2020)*. Available at: <https://istina.msu.ru/conferences/presentations/297636272/> (accessed 15 August 2020) (in Russian).
20. Afanasiev A.A. *Econometric forecasting of the daily number of Moscow citizens infected with the Wuhan coronavirus from March to July 2020 (full version of 25 April 2020)*. Available at: <https://istina.msu.ru/conferences/presentations/294603297/> (accessed 15 August 2020) (in Russian).
21. Afanasiev A.A. *Econometric forecasting of the daily number of Moscow citizens infected with the Wuhan coronavirus from March to July 2020 (abridged version of 25 April 2020)*. Available at: https://indem.ru/coronavirus/Forecast_CV-19_In_Moscow.pdf (accessed 15 August 2020) (in Russian).
22. Shereen M.A., Khan S., Kazmi A., Bashir N., Siddique R. (2020) COVID-19 infection: Origin, transmission, and characteristics of human coronaviruses. *Journal of Advanced Research*, no 24, pp. 91–98. DOI: 10.1016/j.jare.2020.03.005.
23. Chinese Academy of Sciences (2020) *Wuhan coronavirus has strong ability to infect humans. Press release, 21 January 2020*. Available at: https://view.inews.qq.com/w2/20200121A0M08X00?tbkt=F&strategy=&openid=o041BALMrLyGDxbWNOPoDM1IfG-s&uid=&refer=wx_hot (accessed 15 August 2020).

About the authors

Anton A. Afanasiev

Dr. Sci. (Econ.);

Leading Researcher, Laboratory of Social Simulation, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia;

E-mail: aanton@cemi.rssi.ru

ORCID: 0000-0002-0300-5064

Olga S. Ponomareva

Senior Researcher, Laboratory of Institutional Dynamics, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia;

E-mail: fondf@cemi.rssi.ru