

БИЗНЕС- ИНФОРМАТИКА

Научный журнал НИУ ВШЭ

СОДЕРЖАНИЕ

Ю.А. Зеленков, А.С. Сучкова

Прогнозирование оттока клиентов
на основе паттернов изменения
их поведения 7

А.Л. Машкова

Динамика инвестиций в России в условиях
санкционных ограничений: прогноз
на базе агент-ориентированной модели 18

*Р.А. Щербаков, С.Г. Приворотская,
К.О. Вишневский*

Распространение цифровых технологий
в условиях внешних шоков: на примере
пандемии COVID-19 37

В.В. Матохин, А.В. Сигал

Энтропийный подход к анализу
бухгалтерских балансов банков 53

N.G. Azyabi

The impact of ICT on inter-organizational
knowledge sharing for SMEs growth 66

M. Fallah Jelodar, S. Sadeghi

Driving factors of changes in energy intensity:
A comparison between energy exporting
and importing countries 86



Издатель:
Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

Подписной индекс
Объединенного каталога
«Пресса России» – E79128

Выпускается ежеквартально

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

Главный редактор
Е.П. Зараменских

Заместитель главного редактора
Э.А. Бабкин

Компьютерная верстка
О.А. Богданович

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

Администратор веб-сайта
И.И. Хрусталева

Адрес редакции:
119049, г. Москва,
ул. Шаболовка, д. 26-28
Тел./факс: +7 (495) 772-9590 *28509
<http://bijournal.hse.ru>
E-mail: bijournal@hse.ru

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

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

Тираж:
русскоязычная версия – 100 экз.,
англоязычная версия – 100 экз.,
онлайн-версия на русском и английском –
свободный доступ

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

© Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

О ЖУРНАЛЕ

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

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

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Зараменских Евгений Петрович

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Бабкин Эдуард Александрович

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

Авдошин Сергей Михайлович

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

Акопов Андраник Сумбатович

Центральный экономико-математический институт РАН,
Москва, Россия

Алескеров Фуад Тагиевич

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

Афанасьев Александр Петрович

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

Афанасьев Антон Александрович

Центральный экономико-математический институт РАН,
Москва, Россия

Баранов Александр Павлович

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

Барахнин Владимир Борисович

Федеральный исследовательский центр информационных
и вычислительных технологий, Новосибирск, Россия

Беккер Йорг

Университет Мюнстера, Мюнстер, Германия

Вестнер Маркус

Технический университет прикладных наук,
Регенсбург, Германия

Гаврилова Татьяна Альбертовна

Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

Глотен Эрве

Тулонский университет, Ла-Гард, Франция

Гурвич Владимир Александрович

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

Джейкобс Лоренц

Университет Цюриха, Цюрих, Швейцария

Дискин Иосиф Евгеньевич

Всероссийский центр изучения общественного мнения,
Москва, Россия

Зандкуль Курт

Университет Ростока, Росток, Германия

Иванников Александр Дмитриевич

Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН,
Москва, Россия

Исаев Дмитрий Валентинович

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

Калягин Валерий Александрович

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

Кравченко Татьяна Константиновна

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

Кузнецов Сергей Олегович

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

Лугачев Михаил Иванович

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

Лин Квей-Жей

Технологический институт Нагои, Нагоя, Япония

Мальцева Светлана Валентиновна

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

Мейор Питер

Комиссия ООН по науке и технологиям, Женева,
Швейцария

Миркин Борис Григорьевич

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

Назаров Дмитрий Михайлович

Уральский государственный экономический университет,
Екатеринбург, Россия

Пальчунов Дмитрий Евгеньевич

Новосибирский государственный университет, Новосибирск,
Россия

Пардалос Панайот (Панос)

Университет Флориды, Гейнсвилл, США

Пастор Оскар

Политехнический университет Валенсии, Валенсия,
Испания

Посегга Йоахим

Университет Пассау, Пассау, Германия

Самуйлов Константин Евгеньевич

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Стоянова Ольга Владимировна

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

Триболе Жозе

Университет Лиссабона, Лиссабон, Португалия

Ульянов Михаил Васильевич

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

Ускенбаева Раиса Кабиевна

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

Цуканова Ольга Анатольевна

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

Чхартишвили Александр Гедеванович

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

Штраус Кристина

Университет Вены, Вена, Австрия

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

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

BUSINESS INFORMATICS

HSE Scientific Journal

CONTENTS

Y.A. Zelenkov, A.S. Suchkova

Predicting customer churn based
on changes in their behavior patterns7

A.L. Mashkova

Dynamics of investments in Russia under
the conditions of sanction restrictions:
Forecast based on an agent-based model 18

*R.A. Shcherbakov, S.G. Privorotskaya,
K.O. Vishnevskiy*

Diffusion of digital technologies in the face
of external shocks: The case of the COVID-19
pandemic37

V.V. Matokhin, A.V. Sigal

Entropy approach to the analysis of banks'
balance sheets.....53

N.G. Azyabi

The impact of ICT on inter-organizational
knowledge sharing for SMEs growth66

M. Fallah Jelodar, S. Sadeghi

Driving factors of changes in energy intensity:
A comparison between energy exporting
and importing countries.....86

Vol. 17 No. 1 – 2023



Publisher:
National Research University
Higher School of Economics

The journal is published quarterly

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

Editor-in-Chief
E. Zaramenskikh

Deputy Editor-in-Chief
E. Babkin

Computer Making-up
O. Bogdanovich

Cover design
O. Bogdanovich
(using an image generated
by the Midjourney neural network)

Website Administration
I. Khrustaleva

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

Tel./fax: +7 (495) 772-9590 *28509
<http://bijournal.hse.ru>
E-mail: bijournal@hse.ru

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

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

© National Research University
Higher School of Economics

ABOUT THE JOURNAL

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

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

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

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

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

The journal is distributed both in printed and electronic forms.

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF

Evgeny P. Zaramenskikh

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Eduard A. Babkin

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

EDITORIAL BOARD

Sergey M. Avdoshin

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Andranik S. Akopov

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

Fuad T. Aleskerov

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Alexander P. Afanasyev

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

Anton A. Afanasyev

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

Vladimir B. Barakhnin

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

Alexander P. Baranov

Federal Tax Service, Moscow, Russia

Jörg Becker

University of Munster, Munster, Germany

Alexander G. Chkhartishvili

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

Tatiana A. Gavrilova

Saint-Petersburg University, St. Petersburg, Russia

Hervé Glotin

University of Toulon, La Garde, France

Vladimir A. Gurvich

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

Laurence Jacobs

University of Zurich, Zurich, Switzerland

Iosif E. Diskin

Russian Public Opinion Research Center, Moscow, Russia

Dmitry V. Isaev

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Alexander D. Ivannikov

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

Valery A. Kalyagin

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

Tatiana K. Kravchenko

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Sergei O. Kuznetsov

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Kwei-Jay Lin

Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan

Mikhail I. Lugachev

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Svetlana V. Maltseva

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Peter Major

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

Boris G. Mirkin

National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

Dmitry M. Nazarov

Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

Dmitry E. Palchunov

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Panagote (Panos) M. Pardalos

University of Florida, Gainesville, USA

Óscar Pastor

Polytechnic University of Valencia, Valencia, Spain

Joachim Posegga

University of Passau, Passau, Germany

Konstantin E. Samouylov

Peoples' Friendship University, Moscow, Russia

Kurt Sandkuhl

University of Rostock, Rostock, Germany

Olga Stoyanova

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

Christine Strauss

University of Vienna, Vienna, Austria

José M. Tribolet

Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

Olga A. Tsukanova

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

Mikhail V. Ulyanov

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

Raissa K. Uskenbayeva

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

Markus Westner

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

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.7.17

Прогнозирование оттока клиентов на основе паттернов изменения их поведения

Ю.А. Зеленков^a 

E-mail: yzelenkov@hse.ru

А.С. Сучкова^b

E-mail: assuchkova_1@edu.hse.ru

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

^b Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», НИУ ВШЭ – Санкт Петербург
Адрес: Россия, 190121, г. Санкт-Петербург, ул. Союза Печатников, д. 16

Аннотация

Удержание клиентов является одной из главных задач бизнеса, при этом крайне важно распределить ресурсы на удержание в соответствии с потенциальной прибыльностью потребителя. Чаще всего задача прогнозирования оттока клиентов решается на основе RFM (Recency, Frequency, Monetary) модели. В работе предлагается способ расширения RFM модели с помощью оценок вероятности изменения поведения клиента. На основе анализа данных о 33918 покупателях крупной российской торговой сети за 2019–2020 гг. показано, что существуют повторяющиеся паттерны изменения их поведения длительностью в один год. Информация об этих паттернах используется для вычисления необходимых оценок вероятности. Включение этих данных в предиктивную модель на основе логистической регрессии увеличивает точность прогнозирования более чем на 10% по метрикам AUC и геометрическое среднее. Показано также, что данный подход имеет ограничения, связанные с нарушением паттернов поведения в случае внешних шоков, таких как локдаун из-за пандемии COVID-19 в апреле 2020 г. В работе также предложен способ идентификации этих шоков, позволяющий спрогнозировать снижение предиктивной способности модели.

Ключевые слова: отток клиентов, предсказание оттока клиентов, RFM модель, расширение RFM модели, паттерны поведения клиента, предиктивная аналитика

Цитирование: Зеленков Ю.А., Сучкова А.С. Прогнозирование оттока клиентов на основе паттернов изменения их поведения // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. № 1. С. 7–14. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.7.17

Введение

Концепция управления взаимоотношениями с клиентами (Customer Relationship Management, CRM) подразумевает приобретение и удержание наиболее прибыльных покупателей на основе понимания их ценностей и мотивов, определяющих поведение [1]. При этом издержки на удержание значительно ниже, чем на привлечение новых потребителей, а потеря клиента означает потерю всех покупок, которые он мог бы совершить в течение жизненного цикла [2]. Поскольку не все клиенты одинаково привлекательны для компании в финансовом отношении, крайне важно сначала определить их прибыльность, а затем адекватно распределить ресурсы на их удержание [3].

Задача оптимизации расходов на удержание клиентов решается в два этапа: первый – это сегментация покупателей, а второй – предсказание изменения их поведения. Для сегментации обычно используются методы кластеризации, позволяющие разбить множество клиентов на внутренне однородные группы (классы), которые в то же время сильно различаются между собой [4]. Целью моделей, решающих вторую проблему, является идентификация клиентов, которые могут изменить принадлежность к группе, например, перейти из класса активных покупателей в класс с низкими затратами на покупки [5]. Такой подход получил название прогнозирование оттока клиентов (customer churn prediction). Эту задачу можно свести к проблеме бинарной классификации: используя данные о клиентах за периоды $1, \dots, t$, обучить классификатор h , предсказывающий вероятность того, что в период $t + 1$ покупатель останется в той же группе, перейдет в группу, генерирующую больший доход (метка класса 0), или перейдет в группу с совокупно меньшим доходом (метка класса 1). На основании данных прогнозов компании разрабатывают дифференцированные маркетинговые стратегии, направленные на удержание клиентов, относящихся к классу 1 [2].

Наиболее широко применяемым подходом к анализу поведения клиентов является модель RFM, объединяющая данные о времени, прошедшем с момента последней активности клиента (Recency), количестве его покупок за период t (Frequency) и общем объеме затраченных средств (Monetary) за этот же период [6]. Согласно традиционному подходу, база данных клиентов по каждому из трех из-

мерений RFM разделяется на 5 равных сегментов (квантилей). Топ 20% клиентов получают метку 5, следующие 20% – метку 4 и т.д. В итоге с каждым клиентом ассоциируется метка, содержащая три числа, соответствующие квантилям по измерениям RFM, например, 534 или 231. Таким образом, выделяется 125 групп клиентов, потенциально различающихся поведением. Очевидно, что такой подход имеет недостатки, поскольку он не гарантирует, что выделенные группы, во-первых, внутренне однородны, а во-вторых, сильно отличаются друг от друга. Поэтому в последнее время чаще используются методы кластерного анализа (k -средних, самоорганизующиеся карты Кохонена и другие), позволяющие разделить базу данных клиентов на основе формальных метрик [7].

Многие авторы рассматривают вариации RFM модели, расширяя ее за счет дополнительных измерений, в том числе используя динамику поведения клиентов. Например, в [8] предложена модель, учитывающая дисконты, а в [9] учитывается длительность нахождения клиента в определенном кластере.

В контексте задачи прогнозирования оттока клиентов, обнаружение паттернов, описывающих устойчивые траектории перемещения потребителей между кластерами, является одним из важнейших направлений исследований. Для этого используются различные динамические модели, основанные на идентификации паттернов с помощью кластеризации [10, 11], ассоциативных правилах [12] и скрытых марковских моделях [13].

Целью настоящего исследования является разработка метода, позволяющего предсказывать изменение поведения клиентов (т.е. их перемещение из одного класса в другой) с учетом информации о потоках потребителей между группами, накопленной за предыдущие периоды. Согласно нашей гипотезе, интенсивность перехода клиентов из одного класса в другой варьируется в течение года, но существует устойчивый шаблон, повторяющийся из года в год. Таким образом, мы можем рассматривать наблюдаемые частоты переходов клиентов из класса в класс как оценки вероятности того, что клиент покинет кластер, в котором он находится в настоящий момент. Включение этой информации в предиктивную модель должно значительно повысить точность предсказания.

1. Данные и формализация задачи

Для проверки выдвинутой гипотезы был использован набор данных, включающий информацию о покупках, совершенных клиентами крупной российской торговой сети в 2019–2020 годах. Данные были консолидированы ежемесячно, для каждого покупателя вычислены следующие значения:

- ♦ R – количество дней, прошедших с момента последней покупки до начала текущего месяца,
- ♦ F – количество покупок в текущем месяце,
- ♦ M – общая сумма затрат клиента (доход торговой сети) в текущем месяце.

Другие данные, часто используемые в задачах прогнозирования оттока клиентов (возраст, пол, семейное положение и т.д.), в данном случае не использовались, поскольку они содержат значительное количество пропусков и недостоверных значений. После удаления выбросов и неполных данных был получен набор, содержащий сведения о 33918 клиентах, совершивших не менее пяти покупок за два исследуемых года.

На следующем этапе были выделены устойчивые кластеры пользователей. Для этого данные были разделены на периоды длительностью в один месяц и сгруппированы следующим образом. Клиенты, не совершавшие покупок в рассматриваемый месяц (очевидно, что для них $F = 0$ и $M = 0$), считались принадлежащими к одному кластеру и исключались из анализируемого набора данных, клиенты со значениями $F > 0$ и $M > 0$ сегментировались с помощью алгоритма k -средних. Качество полученного разбиения для различного числа кластеров оценивалось с помощью метрики силуэт [14]. Максимальные значения были получены для разбиения на 3 кластера (один, включающий клиентов без покупок в текущем месяце, и два, выделенных алгоритмом k -средних среди клиентов с покупками). Среднее значение силуэта для 24 месяцев 0,708, минимальное 0,649 для декабря 2019 года и максимальное 0,779 для апреля 2020 года.

На *рис. 1(a)* представлено изменение среднего значения дохода торговой сети от клиента $\hat{E}[M]$ и соответствующий 95% доверительный интервал для двух кластеров покупателей, совершающих

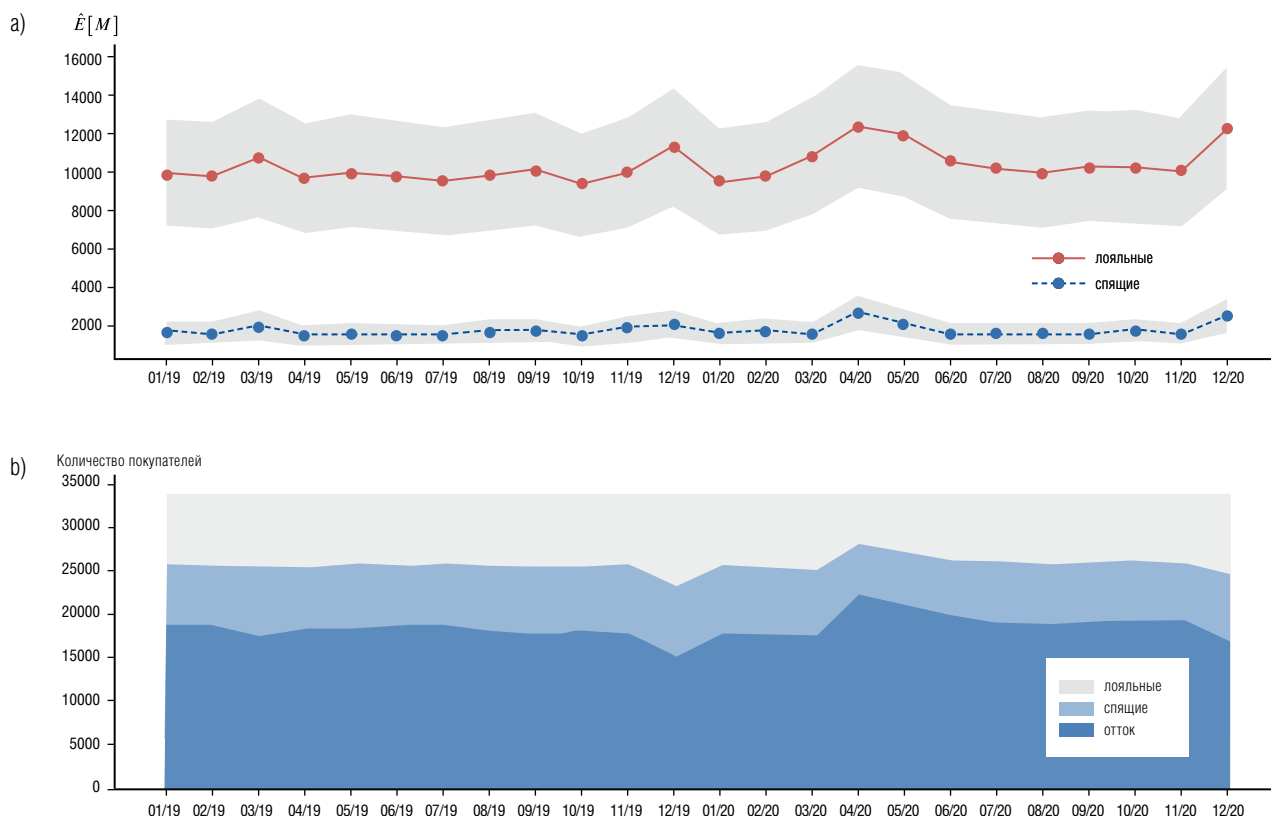


Рис. 1. (a) – средний доход и 95% доверительный интервал для кластеров клиентов, совершающих покупки; (b) – изменение численности клиентов по кластерам.

покупки. Кластер, дающий более высокий средний доход, объединяет покупателей, которых можно определить как «лояльные» (loyal), кластер клиентов, генерирующих меньший доход, можно условно назвать «спящие» (sleeping). Третий кластер, объединяющий клиентов без покупок, мы назвали «отток» (churn). На *рис. 1(b)* представлено изменение численности кластеров.

Анализируя представленные графики, можно сделать вывод о наличии определенных закономерностей, повторяющихся из года в год. Например, в декабре одновременно увеличивается размер кластера loyal и возрастает генерируемый им доход, что связано с сезонными праздниками (Новый год и соответствующие каникулы).

Также был выполнен анализ значимости экзогенных переменных, используя метод, основанный на измерении снижения точности модели при перемешивании значений интересующего атрибута (permutation importance [15]). В качестве базового классификатора использовалась логистическая регрессия, поскольку эта модель устойчива к возмущениям, а точность модели оценивалась при помощи площади под кривой рабочей характеристики приемника (AUC), так как эта метрика нечувствительна к дисбалансу классов [16]. Полученные результаты показывают, что наиболее значимыми признаками (в порядке уменьшения значимости) являются R_t , M_t , F_t , предшествующие прогнозируемому периоду $t + 1$, т.е. исследуемый процесс изменения поведения клиентов является Марковским. Данные более ранних периодов не влияют на качество предсказания. Это согласуется с результатами других исследователей [4, 17, 18].

Таким образом, формулировка задачи предсказания оттока клиентов может быть уточнена следующим образом. Пусть X – множество описаний клиентов, а $Y = \{0, 1\}$ – множество меток классов. Требуется построить алгоритм $h: X \rightarrow Y$, способный классифицировать произвольный объект $x \in X$ по известной конечной обучающей выборке $D = \{(R_t, M_t, F_t)_1, y_1, \dots, (R_t, M_t, F_t)_m, y_m\}$, где $y \in Y$, а вектор $(R_t, M_t, F_t) \in X$ – признаковое описание объекта.

2. Моделирование потоков клиентов

Как уже отмечалось выше, многие исследователи фокусируются на расширении вектора признаков X , включая в него дополнительные признаки, что

повышает точность работы алгоритма классификации. В данной работе предлагается использовать информацию о динамике потоков клиентов между кластерами.

Данная идея инспирирована эпидемиологическими моделями (ЭМ), которые рассматривают перемещение людей между различными группами: инфицированные, заболевшие, выздоровевшие и т.д. [19]. Интенсивность перемещения из группы A в группу B определяется коэффициентом α^{AB} , который фактически определяет долю членов группы A , перешедших в B . В большинстве ЭМ эти коэффициенты рассматриваются как экспоненциально распределенные случайные величины, однако в нашем случае можно вычислить их точные значения, поскольку численность всех групп известна во все моменты времени. Второе отличие заключается в том, что ЭМ обычно предполагают ограниченное число возможных траекторий перемещения между группами, в нашем же случае клиент может перемещаться из своей группы в любую другую. Учитывая все сказанное, динамику клиентов можно представить следующими разностными уравнениями:

$$\begin{aligned} L_{t+1} &= L_t + \alpha_{t+1}^{SL} S_t + \alpha_{t+1}^{CL} C_t - [\alpha_{t+1}^{LS} + \alpha_{t+1}^{LC}] L_t \\ S_{t+1} &= S_t + \alpha_{t+1}^{LS} L_t + \alpha_{t+1}^{CS} C_t - [\alpha_{t+1}^{SL} + \alpha_{t+1}^{SC}] S_t \\ C_{t+1} &= C_t + \alpha_{t+1}^{SC} S_t + \alpha_{t+1}^{LC} L_t - [\alpha_{t+1}^{CL} + \alpha_{t+1}^{CS}] C_t. \end{aligned}$$

Здесь L_t , S_t , C_t – численность клиентов в кластерах «лояльные» (loyal), «спящие» (sleeping) и «отток» (churn) соответственно в момент времени t ;

α_{t+1}^{AB} – коэффициент потока, определяющий, какая часть клиентов, находящихся в момент времени t в группе A перейдет в период $t + 1$ в группу B .

Индекс $t + 1$ в данном случае означает, что значение этого коэффициента станет известно только после наступления момента $t + 1$.

Коэффициент α_{t+1}^{AB} может быть вычислен как $\alpha_{t+1}^{AB} = F_{t+1}^{AB} / A_t$, где F_{t+1}^{AB} – количество клиентов (поток), перешедших из группы A в B в интервал между t и $t + 1$; A_t – количество клиентов в группе A в момент t .

Сравнительный анализ коэффициентов потоков представлен на *рис. 2–4*. Верхние графики на каждом рисунке представляют значения коэффициентов по месяцам 2019 и 2020 года (в данном случае нижний индекс переменной означает год), а также разность между ними. Области, заштрихованные различными оттенками, представляют различ-

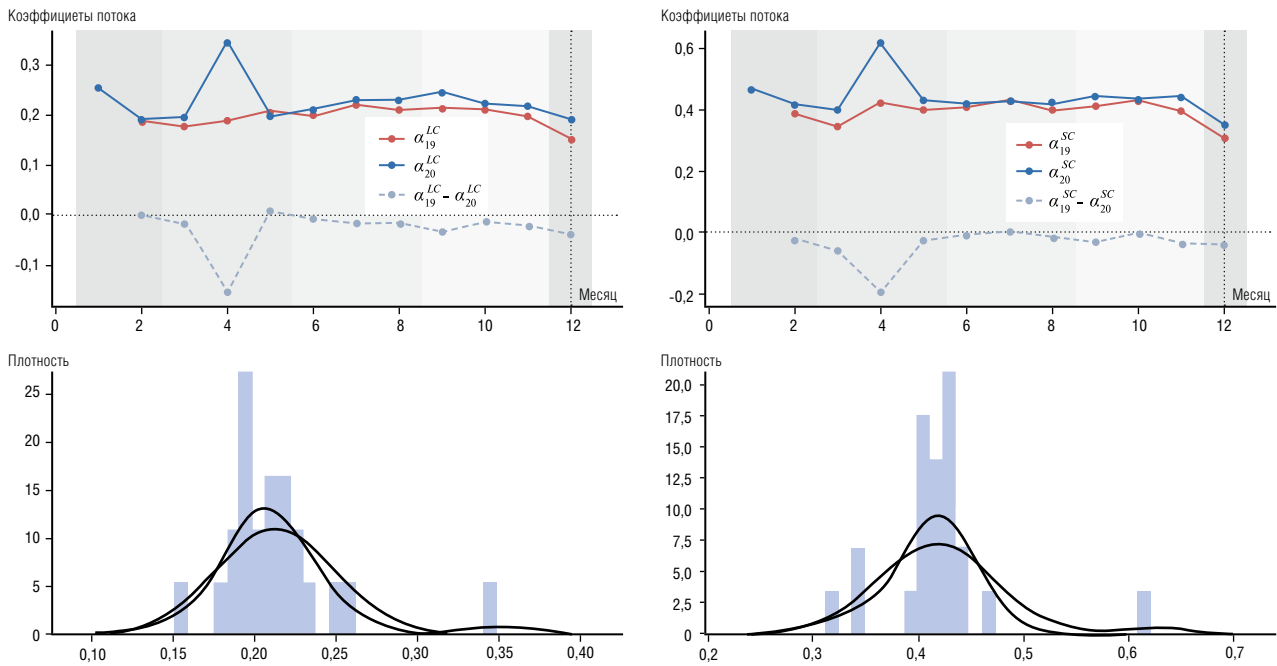


Рис. 2. Коэффициенты потоков в кластер С (churn).

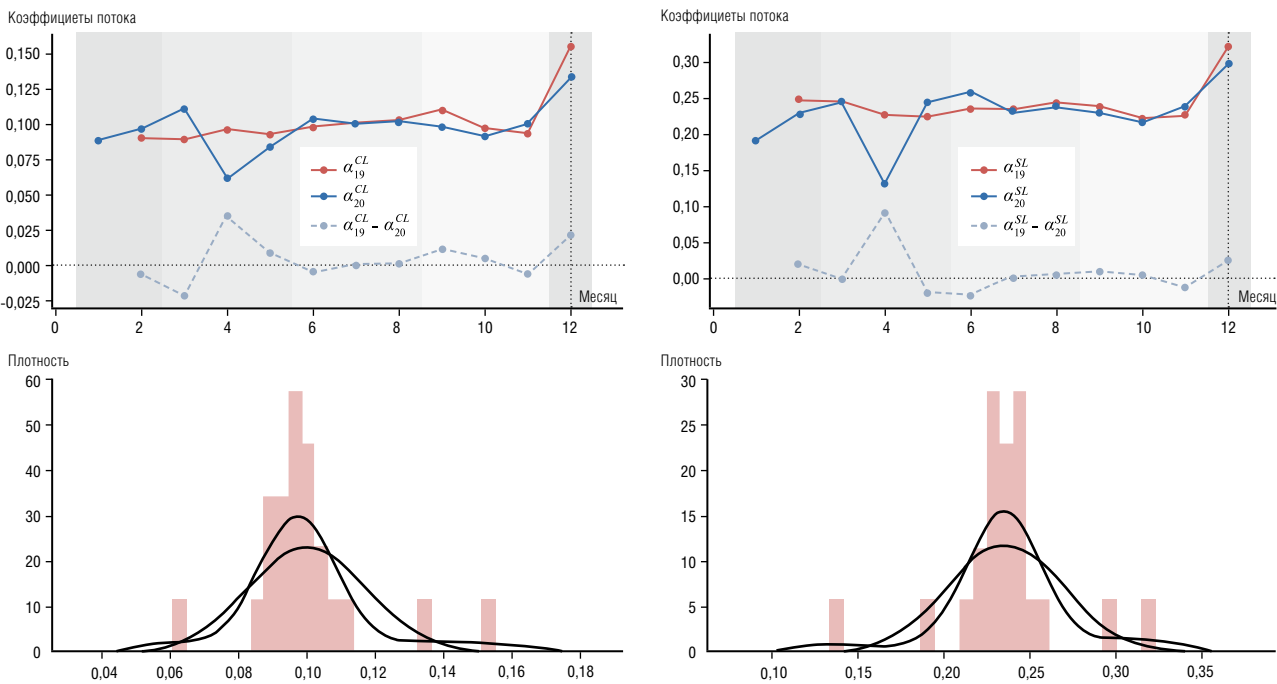


Рис. 3. Коэффициенты потоков в кластер L (loyal).

ные сезоны (зима, весна, лето и осень). Видно, что сезонность, связанная со временем года, отсутствует. Вертикальная пунктирная линия соответствует декабрю, когда, как отмечалось выше, наблюдается рост числа покупок. Из этих графиков следует, что значения коэффициентов за разные годы достаточ-

но близки, разница между ними стремится к нулю (отмечен горизонтальной пунктирной линией). Единственное исключение наблюдается в апреле. Это объясняется тем, что в апреле 2020 г. был введен локдаун, связанный с пандемией COVID-19, что привело к снижению активности покупателей.

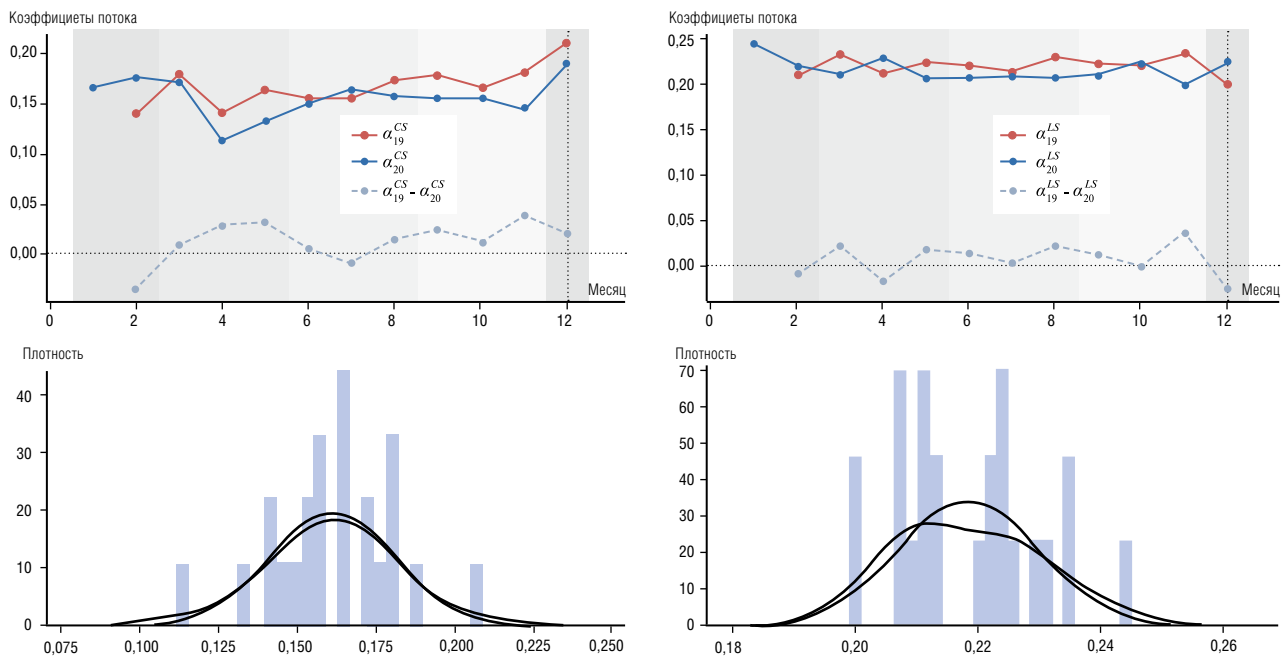


Рис. 4. Коэффициенты потоков в кластер S (sleeping).

Нижняя пара графиков на каждом рисунке представляет распределение значений соответствующих коэффициентов за оба исследуемых года, а также ядерную оценку плотности (kernel density estimation, KDE) этого распределения и нормальное распределение со средним и дисперсией, вычисленным по наблюдаемым значениям. Из этих графиков видно, что распределение значений коэффициентов потоков близко к нормальному. Также на основании представленной информации можно предположить, что временные ряды, представляющие значения коэффициентов за оба года, являются стационарными.

Для проверки предположения о стационарности временных рядов выполнен расширенный тест Дики-Фуллера (Augmented Dickey-Fuller, ADF), значения соответствующей статистики представлены в таблице 1, столбец ADF. Полученные результаты показывают, что нулевая гипотеза о наличии единичных корней и, следовательно, нестационарности ряда отвергается для всех коэффициентов кроме α^{CL} и α^{LS} . Однако, если исключить наблюдение, соответствующее апрелю 2020 года, вносящее наибольшие возмущения, то все ряды становятся стационарными (столбец ADF₄).

Кроме того, для оценки подобия коэффициентов за два исследуемых года были вычислены две меры (таблица 1): косинусное сходство (cosine

similarity, CS) и средняя абсолютная ошибка в процентах (mean absolute percentage error, MAPE)

$$CS(P, N) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i N_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n P_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n N_i^2}},$$

$$MAPE(P, N) = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_i - N_i}{P_i} \right|.$$

В данном конкретном случае P и N – вектора коэффициентов потоков за 2019 и 2020 годы соответственно.

Косинусное сходство – это косинус угла между двумя векторами в n -мерном пространстве, где n соответствует количеству значений в последовательности. Как следует из таблицы 1, угол между векторами коэффициентов потоков практически равен нулю, т.е. направления векторов совпадают. Относительно высокие значения $MAPE$ также объясняются результатами локдауна из-за пандемии COVID-19, это доказывает сравнение столбцов $MAPE$ (%) и $MAPE_4$ (%), вычисленных соответственно на всех данных и данных, из которых был исключен апрель.

Таким образом, можно предположить, что включение информации о потоках между группами в число признаков при решении задачи прогнозирования оттока клиентов позволит повысить точность классификации. Используя коэффициенты α , мож-

Таблица 1.

**Результаты тестирования на стационарность и меры подобия
коэффициентов α за 2019 и 2020 гг.**

Коэффициенты		ADF	ADF ₄	CS	MAPE (%)	MAPE ₄ (%)
Потоки в кластер С	α^{LC}	-5,088*	-4,121**	0,982	16,0	9,2
	α^{SC}	-4,594*	-4,855*	0,993	10,4	6,8
Потоки в кластер L	α^{CL}	-2,777**	-7,968*	0,990	10,9	8,3
	α^{SL}	-5,367**	-6,612*	0,992	8,4	5,0
Потоки в кластер S	α^{CS}	-1,431	-10,757*	0,992	12,4	11,7
	α^{LS}	-0,995	-5,649*	0,997	7,5	7,5

* $p < 0,01$; ** $p < 0,1$.

но вычислить оценку \hat{p} условной вероятности $p(y = 1|X)$ перемещения клиента из группы с высокими затратами на покупки в кластер с меньшими затратами, т.е. из кластера loyal в кластеры sleeping или churn и из кластера sleeping в кластер churn. В соответствии с условиями, сформулированными выше, оценка вероятности того, что клиент относится к классу 1, определяется как

$$\hat{p}_t = \alpha_t^{LS} + \alpha_t^{LC}, \text{ if cluster} = \text{loyal}$$

$$\hat{p}_t = \alpha_t^{SS}, \text{ if cluster} = \text{sleeping}.$$

Поскольку оценка \hat{p}_{t+1} для прогнозируемого периода неизвестна, введем дополнительную переменную \hat{v}_t , учитывающий потенциальные изменения \hat{p}_{t+1} на основе данных предыдущего года

$$\hat{v}_t = \hat{p}_{t+1-q} - \hat{p}_{t-q},$$

где q – временной лаг, соответствующий длительности паттерна повторяющегося поведения клиентов. В данном случае $q = 12$.

3. Результаты и дискуссия

Для проверки эффективности предложенного подхода был проведен численный эксперимент по прогнозированию оттока покупателей на основе модели логистической регрессии. Модель обучалась на двух наборах данных, первый включал метрики $D_1 = [R, F, M]$, второй был расширен за счет предложенных здесь переменных $D_2 = [R, F, M, \hat{p}, \hat{v}]$. Задачей модели было по данным в период t определить класс объекта в момент $t + 1$. Обучение, соответственно, производилось на наборе данных $[(R, F, M, \hat{p}, \hat{v})_{t-1}, y_t]$.

Результаты последовательного тестирования модели на валидационных выборках за разные периоды представлены в таблице 2. Используемые метрики – площадь под кривой рабочей характеристики приемника (AUC) и геометрическое среднее

$$G_{mean} = \sqrt{TPR \cdot TNR},$$

где TPR и TNR – доля правильно классифицированных объектов позитивного ($y = 1$) и негативного ($y = 0$) классов соответственно.

Выбор этой метрики дополнительно к AUC обоснован тем, что при прочих равных условиях, геометрическое среднее имеет более высокое значение для сбалансированных предсказаний по обоим классам [16].

Как следует из таблицы 2, включение переменных \hat{p} , \hat{v} обеспечивает увеличение точности предиктивной модели (в большинстве случаев более 10%) в периоды, когда отсутствуют внешние шоки. Таким образом, предложенный подход может быть использован для разработки индивидуальных стратегий удержания пользователей в относительно стабильное время.

В то же время, модель оказывается бесполезной, когда влияние внешних возмущений является катастрофическим, причем это влияние проявляется с задержкой (см. результаты за период 06/20). В этом случае предиктивная способность модели соответствует случайному угадыванию ($AUC = 0,5$), все прогнозируемые объекты классифицируются как принадлежащие классу 0. Это вполне объяснимо, поскольку для предсказания периода $t = 6$ на основе данных периода $t = 5$ используется мо-

Таблица 2.

Значение метрик TNR , TPR , AUC и G_{mean} для логистической регрессии

Период	$D_1 = [R, F, M]$		$D_2 = [R, F, M, \hat{p}, \hat{v}]$		$\frac{G_{mean}(D_2)}{G_{mean}(D_1)}$	$\frac{AUC(D_2)}{AUC(D_1)}$
	G_{mean}	AUC	G_{mean}	AUC		
04/20	0,811	0,812	0,856	0,863	1,055	1,063
05/20	0,739	0,745	0,741	0,747	1,004	1,003
06/20	0,781	0,781	0,000	0,500	0,000	0,640
07/20	0,767	0,767	0,846	0,854	1,102	1,113
08/20	0,750	0,750	0,750	0,750	1,000	1,000
09/20	0,733	0,734	0,839	0,850	1,145	1,158
10/20	0,758	0,758	0,841	0,853	1,109	1,125
11/20	0,743	0,743	0,842	0,854	1,134	1,148
12/20	0,742	0,742	0,831	0,839	1,120	1,131

дель, обученная классифицировать объекты в момент $t = 5$ на данных $t = 4$, когда поведение клиентов резко изменилось вследствие локдауна. Это означает, что в апреле 2020 года произошло нарушение паттерна поведения клиентов, на основе которого строятся оценки вероятности изменения поведения. Однако, данная ситуация не является критической, поскольку снижение предиктивной способности модели вследствие внешних шоков является вполне прогнозируемым и может быть учтено при ее использовании.

Сигналом, предупреждающим о потенциальном снижении точности модели, является значительное отклонение в момент t текущих значений коэффициентов α^{AB} от значений, зафиксированных для этого момента в предыдущие годы. Это отклонение может быть обнаружено при анализе графиков, представленных на рис. 2–4 либо статистическими методами. При наличии такого отклонения для прогноза в $t + 2$ целесообразно использовать модель, обученную на данных $D_1 = [R, F, M]$.

Заключение

В работе показано, что в анализируемой торговой сети наблюдается повторяющийся паттерн перехода клиентов между группами с одинаковым по-

ведением длительностью в один год. Использование информации о потоках клиентов между этими группами позволяет оценить вероятность изменения их поведения. По сравнению с традиционной RFM моделью точность прогнозирования повышается более чем на 10%.

Также продемонстрированы ограничения предлагаемого подхода, которые связаны с нарушением паттерна поведения вследствие внешних шоков. Предложен способ идентификации такого нарушения, что позволяет предсказать деградацию предиктивной способности модели.

В заключение перечислим также возможные направления повышения эффективности предложенного метода:

- ◆ Использование выборки, включающей более чем 2 года. Это позволит более точно определить средние значения коэффициентов α^{AB} , а также учесть их тренды.
- ◆ Выделение периодов меньшей продолжительности (например, неделя). Потенциально это может позволить обнаружить паттерны изменения поведения меньшей периодичности, что повысит точность прогнозирования в краткосрочной перспективе.
- ◆ Использование более сложных моделей, чем логистическая регрессия. ■

Литература

1. Yeh I.C., Yang K.J., Ting T.M. Knowledge discovery on RFM model using Bernoulli sequence // *Expert Systems with Applications*. 2009. Vol. 36. No. 3. P. 5866–5871. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.07.018>
2. Kotler P., Armstrong G. *Principles of Marketing*. NY: Pearson Prentice Hall, 2006.
3. Huang S.C., Chang E.C., Wu H.H. A case study of applying data mining techniques in an outfitter's customer value analysis // *Expert Systems with Applications*. 2009. Vol. 36. No. 3. P. 5909–5915. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.07.027>
4. Wei J.-T., Lee S.-Y., Wu H.-H. A review of the application of RFM model // *African Journal of Business Management*. 2010. Vol. 4. No. 19. P. 4199–4206. <https://doi.org/10.5897/AJBM.9000026>
5. Vafeiadis T., Diamantaras K.I., Sarigiannidis G., Chatzisavvas K.C. A comparison of machine learning techniques for customer churn prediction // *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2015. No. 55. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.03.003>
6. Hughes A.M. *Strategic database marketing*. NY: Probus Publishing, 1994.
7. Ernawati E., Baharin S.S.K., Kasmin F. A review of data mining methods in RFM-based customer segmentation // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1869. No. 1. Article 012085. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012085>
8. Heldt R., Silveira C.S., Luce F.B. Predicting customer value per product: From RFM to RFM/P // *Journal of Business Research*. 2021. No. 127. P. 444–453. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.05.001>
9. Peker S., Kocyigit A., Eren P.E. LRFMP model for customer segmentation in the grocery retail industry: A case study // *Marketing Intelligence and Planning*. 2017. Vol. 35. No. 4. P. 544–559. <https://doi.org/10.1108/MIP-11-2016-0210>
10. Chen Y.L., Kuo M.H., Wu S.Y., Tang K. Discovering recency, frequency, and monetary (RFM) sequential patterns from customers' purchasing data // *Electronic Commerce Research and Applications*. 2009. Vol. 8. No. 5. P. 241–251. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2009.03.002>
11. Hosseini M., Shabani M. New approach to customer segmentation based on changes in customer value // *Journal of Marketing Analytics*. 2015. Vol. 3. No. 3. P. 110–121. <https://doi.org/10.1057/jma.2015.10>
12. Akhondzadeh-Noughabi E., Albadvi A. Mining the dominant patterns of customer shifts between segments by using top-k and distinguishing sequential rules // *Management Decision*. 2015. Vol. 53. No. 9. P. 1976–2003. <https://doi.org/10.1108/MD-09-2014-0551>
13. Lemmens A., Croux C., Stremersch S. Dynamics in the international market segmentation of new product growth // *International Journal of Research in Marketing*. 2012. Vol. 29. No. 1. P. 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2011.06.003>
14. Rousseeuw P. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis // *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 1987. No. 20. P. 53–65. [https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7)
15. Breiman L. Random Forests // *Machine Learning*. 2001. Vol. 45. No. 1. P. 5–32.
16. Zelenkov Y., Volodarskiy N. Bankruptcy prediction on the base of the unbalanced data using multi-objective selection of classifiers // *Expert Systems with Applications*. 2021. No. 185. Article 115559. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115559>
17. Fader P.S., Hardie B.G., Lee K.L. RFM and CLV: Using iso-value curves for customer base analysis // *Journal of Marketing Research*. 2005. Vol. 42. No. 4. P. 415–430. <https://doi.org/10.1509/jmkr.2005.42.4.415>
18. Lumsden S.A., Beldona S., Morrison A.M. Customer value in an all-inclusive travel vacation club: An application of the RFM framework // *Journal of Hospitality & Leisure Marketing*. 2008. Vol. 16. No. 3. P. 270–285. <https://doi.org/10.1080/10507050801946858>
19. Bjørnstad O.N., Shea K., Krzywinski M., Altman N. The SEIRS model for infectious disease dynamics // *Nature Methods*. 2020. No. 17. P. 557–558. <https://doi.org/10.1038/s41592-020-0856-2>

Об авторах

Зеленков Юрий Александрович

доктор технических наук;

профессор департамента бизнес-информатики, Высшая школа бизнеса, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

E-mail: yzelenkov@hse.ru

ORCID: 0000-0002-2248-1023

Сучкова Ангелина Сергеевна

студент бакалавриата, образовательная программа «Международный бизнес и менеджмент», Санкт-Петербургская школа экономики и менеджмента, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург, 190121, г. Санкт-Петербург, ул. Союза Печатников, д. 16;

E-mail: assuchkova_1@edu.hse.ru

Predicting customer churn based on changes in their behavior patterns

Yury A. Zelenkov^a

E-mail: yzelenkov@hse.ru

Angelina S. Suchkova^b

E-mail: assuchkova_1@edu.hse.ru

^a HSE University

Address: 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia

^b HSE University – Saint-Petersburg

Address: 16, Soyuz Pechatnikov Street, St. Petersburg 190121, Russia

Abstract

Customer retention is one of the most important tasks of a business, and it is extremely important to allocate retention resources according to the potential profitability of the customer. Most often the problem of predicting customer churn is solved based on the RFM (Recency, Frequency, Monetary) model. This paper proposes a way to extend the RFM model with estimates of the probability of changes in customer behavior. Based on an analysis of data relating to 33 918 clients of a large Russian retailer for 2019–2020, it is shown that there are recurring patterns of change in their behavior over a single year. Information about these patterns is used to calculate the necessary probability estimates. Incorporating these data into a predictive model based on logistic regression increases prediction accuracy by more than 10% on the metrics AUC and geometric mean. It is also shown that this approach has limitations related to the disruption of behavioral patterns by external shocks, such as the lockdown due to the COVID-19 pandemic in April 2020. The paper also proposes a way to identify these shocks, making it possible to forecast degradation in the predictive ability of the model.

Keywords: customer churn, customer churn prediction, RFM model, RFM model extension, customer behavior patterns, predictive analytics

Citation: Zelenkov Y.A., Suchkova A.S. (2023) Predicting customer churn based on changes in their behavior patterns. *Business Informatics*, vol. 17, no. 1, pp. 7–17. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.7.17

References

1. Yeh I.C., Yang K.J., Ting T.M. (2009) Knowledge discovery on RFM model using Bernoulli sequence. *Expert Systems with Applications*, vol. 36(3), pp. 5866–5871. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.07.018>
2. Kotler P., Armstrong G. (2006) *Principles of Marketing*, 11th ed. NY: Pearson Prentice Hall.
3. Huang S.C., Chang E.C., Wu H.H. (2009) A case study of applying data mining techniques in an outfitter's customer value analysis. *Expert Systems with Applications*, vol. 36(3), pp. 5909–5915. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.07.027>
4. Wei J.-T., Lee S.-Y., Wu H.-H. (2010) A review of the application of RFM model. *African Journal of Business Management*, vol. 4(19), pp. 4199–4206. <https://doi.org/10.5897/AJBM.9000026>
5. Vafeiadis T., Diamantaras K.I., Sarigiannidis G., Chatzisavvas K.C. (2015) A comparison of machine learning techniques for customer churn prediction. *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 55, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.03.003>
6. Hughes A.M. (1994) *Strategic Database Marketing*. NY: Probus Publishing.

7. Ernawati E., Baharin S.S.K., Kasmin F. (2021) A review of data mining methods in RFM-based customer segmentation. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1869(1), 012085. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012085>
8. Heldt R., Silveira C.S., Luce F.B. (2021) Predicting customer value per product: From RFM to RFM/P. *Journal of Business Research*, vol. 127, pp. 444–453. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.05.001>
9. Peker S., Kocyigit A., Eren P.E. (2017) LRFMP model for customer segmentation in the grocery retail industry: A case study. *Marketing Intelligence and Planning*, vol. 35(4), pp. 544–559. <https://doi.org/10.1108/MIP-11-2016-0210>
10. Chen Y.L., Kuo M.H., Wu S.Y., Tang K. (2009) Discovering recency, frequency, and monetary (RFM) sequential patterns from customers' purchasing data. *Electronic Commerce Research and Applications*, vol. 8(5), pp. 241–251. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2009.03.002>
11. Hosseini M., Shabani M. (2015) New approach to customer segmentation based on changes in customer value. *Journal of Marketing Analytics*, vol. 3(3), pp. 110–121. <https://doi.org/10.1057/jma.2015.10>
12. Akhondzadeh-Noughabi E., Albadvi A. (2015) Mining the dominant patterns of customer shifts between segments by using top-k and distinguishing sequential rules. *Management Decision*, vol. 53(9), pp. 1976–2003. <https://doi.org/10.1108/MD-09-2014-0551>
13. Lemmens A., Croux C., Stremersch S. (2012) Dynamics in the international market segmentation of new product growth. *International Journal of Research in Marketing*, vol. 29(1), pp. 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2011.06.003>
14. Rousseeuw P. (1987) Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 20, pp. 53–65. [https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7)
15. Breiman L. (2001) Random Forests. *Machine Learning*, vol. 45(1), pp. 5–32.
16. Zelenkov Y., Volodarskiy N. (2021) Bankruptcy prediction on the base of the unbalanced data using multi-objective selection of classifiers. *Expert Systems with Applications*, vol. 185, 115559. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115559>
17. Fader P.S., Hardie B.G., Lee K.L. (2005) RFM and CLV: Using iso-value curves for customer base analysis. *Journal of Marketing Research*, vol. 42(4), pp. 415–430. <https://doi.org/10.1509/jmkr.2005.42.4.415>
18. Lumsden S.A., Beldona S., Morrison A.M. (2008) Customer value in an all-inclusive travel vacation club: An application of the RFM framework. *Journal of Hospitality & Leisure Marketing*, vol. 16(3), pp. 270–285. <https://doi.org/10.1080/10507050801946858>
19. Bjørnstad O.N., Shea K., Krzywinski M., Altman N. (2020) The SEIRS model for infectious disease dynamics. *Nature Methods*, vol. 17, pp. 557–558. <https://doi.org/10.1038/s41592-020-0856-2>

About the authors

Yury A. Zelenkov

Dr. Sci. (Tech.);

Professor, Department of Business Informatics, Graduate School of Business, HSE University, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

E-mail: yzelenkov@hse.ru

ORCID: 0000-0002-2248-1023

Angelina S. Suchkova

Student, BSc Program «International business and management», Saint Petersburg School of Economics and Management, HSE University – Saint Petersburg, 16, Soyuzna Pechatnikov Street, St. Petersburg 190121, Russia;

E-mail: assuchkova_1@edu.hse.ru

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.18.36

Динамика инвестиций в России в условиях санкционных ограничений: прогноз на базе агент-ориентированной модели

А.Л. Машкова 

E-mail: aleks.savina@gmail.com

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: Россия, 302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95

Центральный экономико-математический институт РАН
Адрес: Россия, 117418, г. Москва, Нахимовский пр-т, д. 47

Аннотация

Ситуация торговой войны между Россией и западными странами является беспрецедентной в новейшей истории как по масштабу вводимых ограничений, так и в силу их обоюдоострого характера, в результате чего испытывает трудности вся мировая экономическая система. Актуальной задачей становится выработка такой экономической политики России, которая позволит совершить быструю переориентацию на восточные рынки и использовать новые драйверы роста. Оценка эффективности предпринимаемых мер должна проводиться с использованием современных инструментов, одним из которых являются агент-ориентированные модели экономики. Поскольку в рамках моделей международных торговых отношений, разработанных в ряде стран, Россия не рассматривается в качестве ключевого игрока, для оценки вводимых против нее санкций потребовалась разработка нового инструмента — агент-ориентированной модели торговых войн между Россией, США, Китаем и Евросоюзом. Целью представленного в данной статье исследования является оценка потребности экономики России в дополнительных инвестициях в различные отрасли для масштабного импорта замещения продукции, поставляющейся из недружественных стран. Для ее достижения в агент-ориентированной модели воспроизводится существовавшая до начала военной спецоперации отраслевая структура экономик рассматриваемых стран и торговых отношений между ними, составляются сценарии возможных санкций и моделируются соответствующие им изменения в торговых отношениях между странами. В рамках сценарных расчетов проводилось три серии экспериментов: в первой серии для каждого

сценария оценивалась ожидаемая динамика ВВП России в текущем году в условиях организации программ импортозамещения в ключевых отраслях, и рассчитывалась стоимость этих программ; во второй серии исследовалась зависимость динамики ВВП от объема вложенных инвестиций; в третьей серии моделировалась динамика торговых отношений в трехлетнем периоде для двух вариантов инвестиционной политики в каждом сценарии. Результаты проведенных экспериментов также показывают, что влияние инвестиций на экономику проявляется тем сильнее, чем жестче вводимые санкции, и в этих условиях реализация инвестиционных программ позволяет ускорить восстановление экономики в среднем на 0,5% ВВП в год.

Ключевые слова: торговые войны, агент-ориентированная модель, санкции, сценарные расчеты, инвестирование

Цитирование: Машкова А.Л. Динамика инвестиций в России в условиях санкционных ограничений: прогноз на базе агент-ориентированной модели // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. № 1. С. 18–36. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.18.36

Введение

После начала специальной военной операции России на Украине мир столкнулся с введением экономических санкций, беспрецедентных во многих отношениях. Во-первых, это масштаб ограничений, затрагивающий по ряду отраслей более половины торгового оборота со странами, не вовлеченными напрямую в военный конфликт, и не состоящими в договорах о военном сотрудничестве с конфликтующими странами, а в некоторых случаях и полностью блокирующих этот оборот. Во-вторых, это обоюдоострый характер вводимых ограничений, в результате которых страдает не только экономика России, но и экономика США и ЕС, а также нейтральных стран, поскольку провоцируется глобальный дефицит топлива, продовольствия, металлов, и связанные с ним инфляция, приостановка производств, рост безработицы. В наибольшей мере в сложившихся условиях страдают малообеспеченные слои населения, которые даже в развитых странах оказываются под угрозой голода, и встает вопрос, что это: недооценка последствий вводимых мер, или сознательное пренебрежение их влиянием на жизнь простых граждан? История может пролить свет на мотивы руководства стран, вводящих сейчас эти ограничения, а задачей текущего момента является выработка такой экономической политики России, которая позволит минимизировать нанесенный ущерб, а в перспективе даже использовать возникшие драйверы роста.

Для решения этой задачи эффективным инструментом могут послужить компьютерные модели экономики, интегрирующие имеющиеся данные о производстве, занятости и хозяйственных взаимосвязях между странами. Наиболее известным проектом в области разработки инструментальных средств для количественной оценки торговых войн между реальными государствами является The Global Trade Analysis Project (GTAP), объединяющий научных исследователей из разных стран [1, 2]. GTAP использует универсальную методологию моделирования, основанную на вычислимых моделях общего равновесия (CGE). В рамках GTAP был разработан ряд модельных комплексов, в том числе:

1. WorldScan, который моделирует торговлю 29 продуктами между 30 странами с наиболее крупными экономиками и объединенными группами из нескольких государств. Производство товаров и услуг в модели осуществляется с использованием промежуточных продуктов, труда и капитала, причем вклад этих параметров задается через параметры производственных функций. Спрос на товары и их предложение в каждой стране связаны со спросом и предложением этих товаров в других странах, цены на них учитывают возможности замещения, транспортные издержки и торговые барьеры. На основе комплекса WorldScan производилась оценка влияния изменений в тарифах на отдельные продукты и укрупненные отрасли, при этом моделировались

как последовательные изменения в отдельных странах, так и во всех одновременно. Результаты проведенных расчетов показали, какие отрасли являются наиболее чувствительными к торговой войне между Китаем и США, а также был сделан вывод, что Китай понесет большие потери как в случае симметричных двусторонних мер, так и при торговой войне мирового масштаба [3].

2. Модель многосекторной экономика GLOBE, разработанная в сотрудничестве Военно-морской академии США с Гогенгеймским университетом. GLOBE была использована для оценки последствий участия в торговых войнах стран, входящих в Североамериканскую зону свободной торговли, и попадающих под регулирование Североамериканского торгового соглашения [4].

3. Мультистрановая модель многосекторной экономики MIRAGRODEP, которая была разработана в Международном научно-исследовательском институте продовольственной политики (Вашингтон, США). MIRAGRODEP основана, в дополнение к методологии GTAP, на более общей модели MIRAGE (моделирование международных отношений в условиях прикладного общего равновесия). Основное внимание в этой модели уделяется торговле товарами между США, Китаем и Мексикой [5].

4. Глобальная модель торговой войны между Китаем и США, разработанная в сотрудничестве Институтом мировой экономики и политики Китайской Академии общественных наук и Центром международной торговли и экономики [6].

Перечисленные модели ориентированы на рассмотрение крупнейших мировых игроков, чаще всего США и Китая, иногда также стран ЕС. Несмотря на то, что в некоторых из представленных модельных комплексов Россия выделяется как отдельный участник, доступные публикации не дают оценки последствий экономических санкций для России, которые регулярно вводятся против нее с 2014 года. При этом ведущие мировые агентства начали крайне быстро давать негативные прогнозы для российской экономики: JP Morgan уже 28 февраля спрогнозировал падение ВВП на 20% во втором квартале, Всемирный банк в апреле годовое падение на 11,2%, а Bloomberg в мае – падение на 12%. Для противодействия такому негативному информационному воздействию на общественное мнение необходимо иметь собственные модельные комплексы, способные бы-

стро актуализировать прогнозы в изменяющихся условиях, и включающие Россию в качестве одного из ключевых участников мировой торговли. Эта задача реализуется коллективом ЦЭМИ РАН на базе агент-ориентированного подхода [7–11]. Разработанная модель торговых войн симулирует торговые взаимодействия между Россией, США, Китаем, Евросоюзом и объединенным остальным миром [12]. Проведенные в 2021 году серии расчетов не предполагали сценария такой глобальной торговой войны против России, которую мы наблюдаем в настоящее время, поэтому актуальной задачей становится адаптация модели к новым реалиям. В частности, целью данной работы является оценка потребности экономики России в дополнительных инвестициях в различные отрасли для масштабного импортозамещения продукции, поставляющейся их недружественных стран.

Процессы инвестирования в российскую экономику изучались с различных точек зрения: влияния инвестиционной и кредитно-денежной политики государства [13–15], иностранных инвестиций [16], распределения инвестиций между старыми и новыми технологиями [17]. Несмотря на сравнительно меньшую эффективность государственных инвестиций по сравнению с частными, показанную в работе [13], в сложившихся условиях роль государственных инвестиций в пострадавшие отрасли экономики возрастает.

Расчеты на разработанной модели позволяют оценить не только требуемые объемы инвестирования, но также и их влияние на переформирование цепочек поставок и динамику внутреннего продукта страны, а также риски, связанные с недостаточной инвестиционной активностью организаций и государства.

1. Методы

В качестве основного метода исследования было выбрано агент-ориентированное моделирование, позволяющее оценить динамику глобальной системы в результате взаимодействия различных агентов: стран, организаций и жителей [18, 19]. По сравнению с таким широко распространенным подходом к построению компьютерных моделей экономики как вычислимые модели общего равновесия (CGE), агент-ориентированные модели имеют ряд особенностей, которые определяют их способность воспроизводить сложные социально-экономические процессы:

1. Неоднородность агентов и их характеристик, что позволяет использовать для них различные модели поведения.

2. Прямое взаимодействие между агентами, влияющее на их решения.

3. Ограниченная рациональность агентов.

Основанные на этих принципах агент-ориентированные модели экономики (АСЕ) могут служить своего рода компьютерными лабораториями для оценки влияния политики на макроэкономическую динамику [20]. АСЕ-поход применяется для моделирования налоговой [21], денежно-кредитной [22, 23] и макропруденциальной политики [24, 25], а также регулирования рынка труда [26].

В разработанной модели торговых войн взаимодействие между агентами определяет направление и структуру товарно-денежных потоков между странами и их изменение под влиянием спроса и государственного регулирования. Представленное в данной работе исследование выполнено в соответствии со следующей методологией:

1. Воспроизведение в агент-ориентированной модели существующей отраслевой структуры экономик рассматриваемых стран и торговых отношений между ними (моделирование «как есть»). В непрерывно изменяющихся в данный момент условиях представляется корректным уточнить, что под существующей структурой понимается структура, существовавшая до начала спецоперации и последовавших за этим международных санкций.

2. Составление сценариев внешнеэкономической ситуации, учитывающие введенные и планируемые пакеты санкций.

3. Моделирование структурных изменений в торговых отношениях между странами в условиях разработанных сценариев при допущении о неограниченных инвестиционных возможностях организаций.

4. Оценка объема инвестиций, требуемых для увеличения выпуска в пострадавших от санкций отраслях, на основе выходных данных моделирования.

5. Моделирование изменений в торговых отношениях в условиях ограниченных инвестиционных возможностей организаций и стран.

2. Структура модели

Применение агент-ориентированного подхода позволяет достичь высокой степени детализации модели и отразить в модели торговых войн их по-

следствия для бюджетной системы, производства, занятости и доходов жителей (рис. 1). Для каждой страны, рассматриваемой в модели, воссоздается население в соответствии с его половозрастной структурой. Созданные агенты-жители участвуют в процессах производства (как сотрудники на рабочих местах) и потребления продукции, произведенной агентами-организациями.

Организации в модели являются укрупненными и представляют собой группу организаций одной отрасли в стране, для которых агрегируются их показатели: объем выпуска, численность рабочих мест и объем основных средств, характеризующий производственные мощности.

Торговые взаимосвязи в модели определяются через систему поставок организаций, при этом экспортные и импортные поставки формируют международный товарный обмен. Поставки в модели разделяются на три типа:

- ◆ промежуточные поставки сырья, материалов и комплектующих другим организациям, для удобства дальнейших расчетов разделяются на оборотные (напрямую зависящие от объемов выпуска) и внеоборотные;
- ◆ инвестиционные поставки основных средств, в которых выделяются основные (закупка машин, оборудования, зданий и сооружений) и дополнительные (закупки продукции прочих отраслей, отражаемые в отчетности как инвестиции);

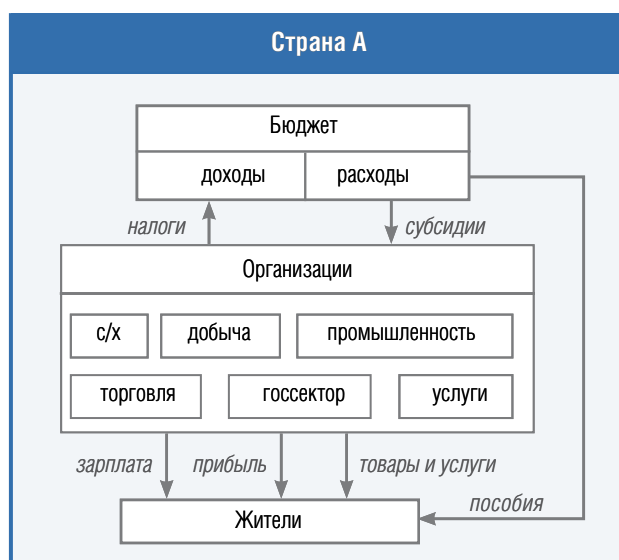


Рис. 1. Взаимосвязи между объектами модели в рамках одной страны.

- ◆ поставки конечной продукции, покупателями которой являются агенты-жители.

Поставка каждого типа может быть реализованной (в прошедшем периоде) и плановой (расчитанной на следующий период). Плановые поставки нужны для регулирования и расчета изменений в торговых отношениях. Для каждой поставки задается идентификатор поставщика и покупателя, дата, объем поставки, цена продажи и покупки. Цена продажи задается в валюте государства, в котором находится агент-поставщик, без налогов. Цена покупки состоит из цены продажи, налогов на продажи, налогов на экспорт и импорт (для международных поставок), и переводится в валюту государства, в котором находится агент-покупатель.

Государства имеют национальную валюту, курс которой задается относительно валют других стран. Бюджетная система каждого государства получает доходы через налоговую систему и осуществляет расходы, в том числе выплачивает пособия населению и субсидии организациям, а также финансирует государственный сектор экономики. Для государств на каждый модельный год строится бюджет, который включает доходную и расходную часть, представленную в виде укрупненных статей (*табл. 1*). Также функции государства в модели предполагают введение ограничений на импорт и экспорт продуктов некоторых отраслей.

Разработанная модель торговых войн рассматривает динамику торговых отношений между ря-

дом стран и их объединений: Россией, США, Китаем, Европейским союзом и остальным миром (*рис. 2*). Товарный обмен между странами определяется, с одной стороны, потребностями их экономик, с другой – действующими санкционными ограничениями на импорт и экспорт. В свете последних событий страны в модели можно разделить на три группы:

1. Инициаторы экономической войны, которые ввели наибольшее количество санкций: США и Евросоюз (на *рисунке 2* слева).

2. Подсанкционные страны с крупной экономикой: в первую очередь, Россия, против которой действует наибольшее количество ограничений, а также Китай, экономические санкции против которого ввели США с 2018 года (на *рисунке 2* справа).

3. Остальной мир, который считается условно-нейтральной укрупненной страной в модели, хотя в него входят как страны, которые также ввели санкции против России, так и страны, не поддерживавшие введение ограничений, а также страны, находящиеся под санкциями западных стран.

Программная структура агент-ориентированной модели торговых войн включает алгоритмы формирования населения и организаций, динамики экономической среды и реализации санкционных ограничений. В первой группе алгоритмов происходит создание первоначального поколения агентов-жителей, организаций (с определением объемов выпуска, поставок, основных средств) и рабочих мест, на которых закрепляются агенты-жители. Данные вопросы подробно рассмотрены в [27, 28]. Вторая группа алгоритмов включает реализацию следующих процессов:

- ◆ производство: закупка сырья, производственная задержка, оптовая продажа продукции;
- ◆ потребление: получение заработной платы и приобретение конечной продукции;
- ◆ функции государственного управления: выплата пособий населению, финансирование организаций государственного сектора и инвестиции в национальную экономику через организации сельского хозяйства, добывающей и обрабатывающей промышленности;
- ◆ изменение системы поставок в результате введения санкционных ограничений;
- ◆ расчет и планирование необходимых инвестиций.

Таблица 1.

Структура бюджета в модели

Доходы	Расходы
Налоги на зарплату	Финансирование государственного сектора
Налоги на внутреннее производство	
Налоги на экспорт	Субсидии на развитие национальной экономики
Налоги на импорт	
Государственный займ	Обслуживание государственного займа
Прочие поступления	Прочие расходы

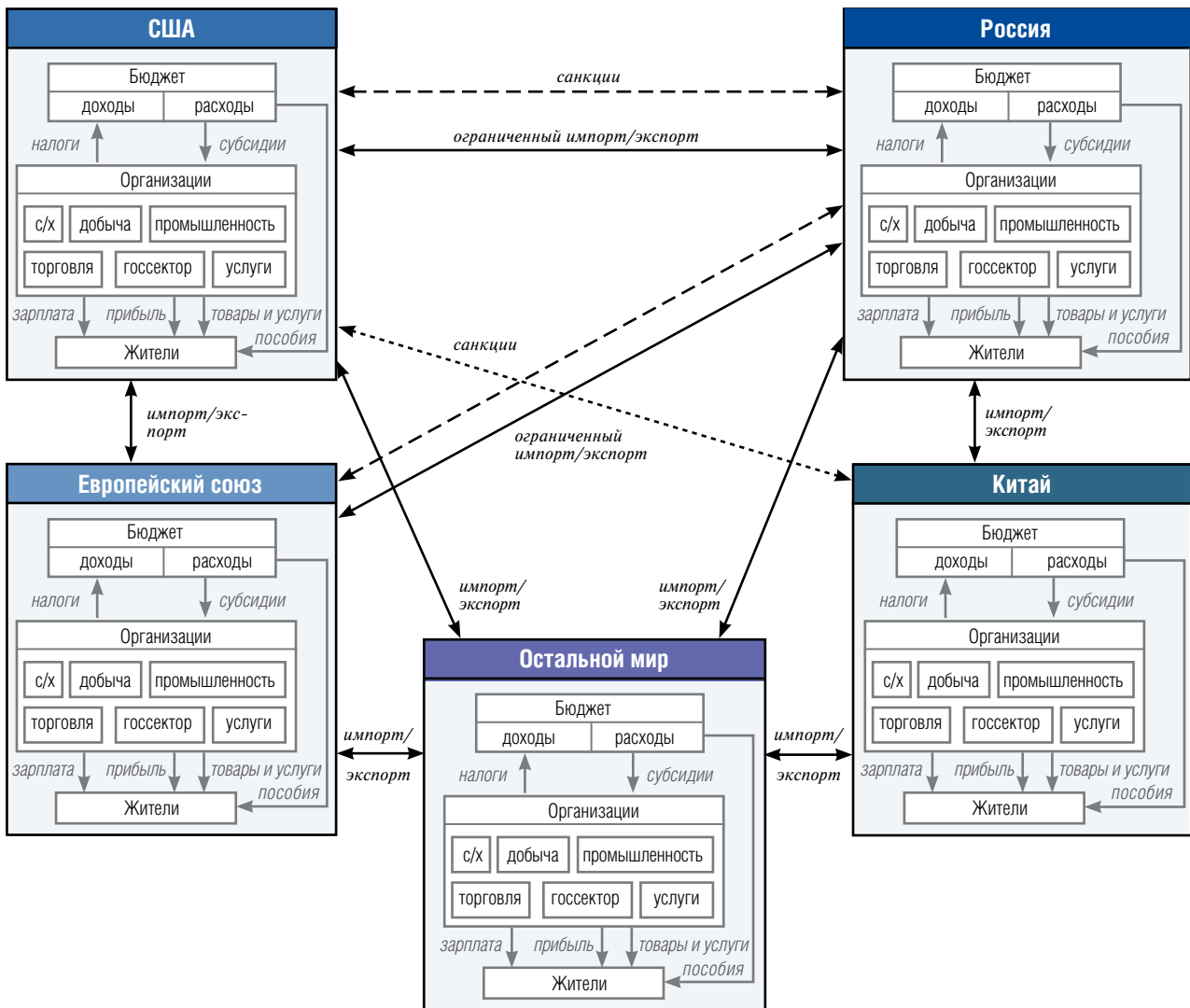


Рис. 2. Концептуальная структура агент-ориентированной модели торговых войн.

Реализация событий в сфере производства и потребления продукции в модели торговых войн рассматриваются в работе [12]; функции бюджетной системы представлены в [29].

Торговые ограничения в модели рассматриваются с двух сторон: ограничения на импорт определенных видов продукции из ряда стран и ограничения на экспорт в другие страны. Каждое ограничение задается следующим набором данных:

$$TR = \langle S_1, S_2, t, i, r, y \rangle,$$

где S_1 – страна в модели;

S_2 – страна – торговый партнер S_1 ;

t – тип торгового отношения, подвергающийся ограничениям (импорт или экспорт);

i – отрасль, продукция которой подвергается ограничениям;

r – величина торгового ограничения в долях относительно объема торговых отношений в предшествующем периоде;

y – модельный год, в который было введено торговое ограничение.

Для корректировки существующей структуры торговых отношений в условиях введения новых санкций производится оценка доступности импортных поставок для организаций-покупателей из каждой страны и организаций-поставщиков из стран – торговых партнеров. Если в рассматриваемой паре стран и отрасли введены новые огра-

ничения, то объем поставки уменьшается, а разница заносится в массив недостающих поставок по отрасли поставщика. После рассмотрения всех стран поставщиков сформированный массив недостающих поставок распределяется между отечественными поставщиками и поставщиками из стран, которые не вводили торговых ограничений. Более подробно алгоритм реализации торговых ограничений представлен в [12]. Реализация данного алгоритма приводит к изменению продаж и выпуска организаций из стран, вовлеченных в торговую войну, и увеличению торгового потока с дружественными и нейтральными странами.

3. Моделирование динамики инвестиций

Планирование необходимых инвестиций организаций складывается из регулярных затрат на поддержание фонда основных средств (ОС) и затрат на увеличение производственных мощностей в соответствии с ожидаемой динамикой выпуска продукции (рис. 3). Затраты на поддержание фонда основных средств предполагаются равными амортизационным отчислениям IA , известным из статистики по странам и отраслям. Для оценки затрат на увеличение производственных мощностей используются данные о стоимости основных средств организации отрасли i в стране j E_i^j . В результате работы описанных выше алгоритмов корректировки объемов продаж для каждой организации известен коэффициент роста выпуска KV_i^j . Объем инвестиций для расширения производства рассчитывается как:

$$IP(t+1)_i^j = E_i^j \cdot KV_i^j,$$

где $IP(t+1)_i^j$ – инвестиции в расширение производства в периоде $(t+1)$.

Коэффициент роста инвестиций организации в следующем периоде рассчитывается относительно инвестиций текущего периода t :

$$KI(t+1)_i^j = \frac{IP(t+1)_i^j + IA(t+1)_i^j}{IP(t)_i^j + IA(t)_i^j},$$

где $KI(t+1)_i^j$ – коэффициент роста инвестиций организации отрасли i в стране j в периоде t ;

$IA(t)_i^j$, $IA(t+1)_i^j$ – амортизационные отчисления в периодах t и $(t+1)$;

$IP(t)_i^j$ – инвестиции в расширение производства в периоде t .

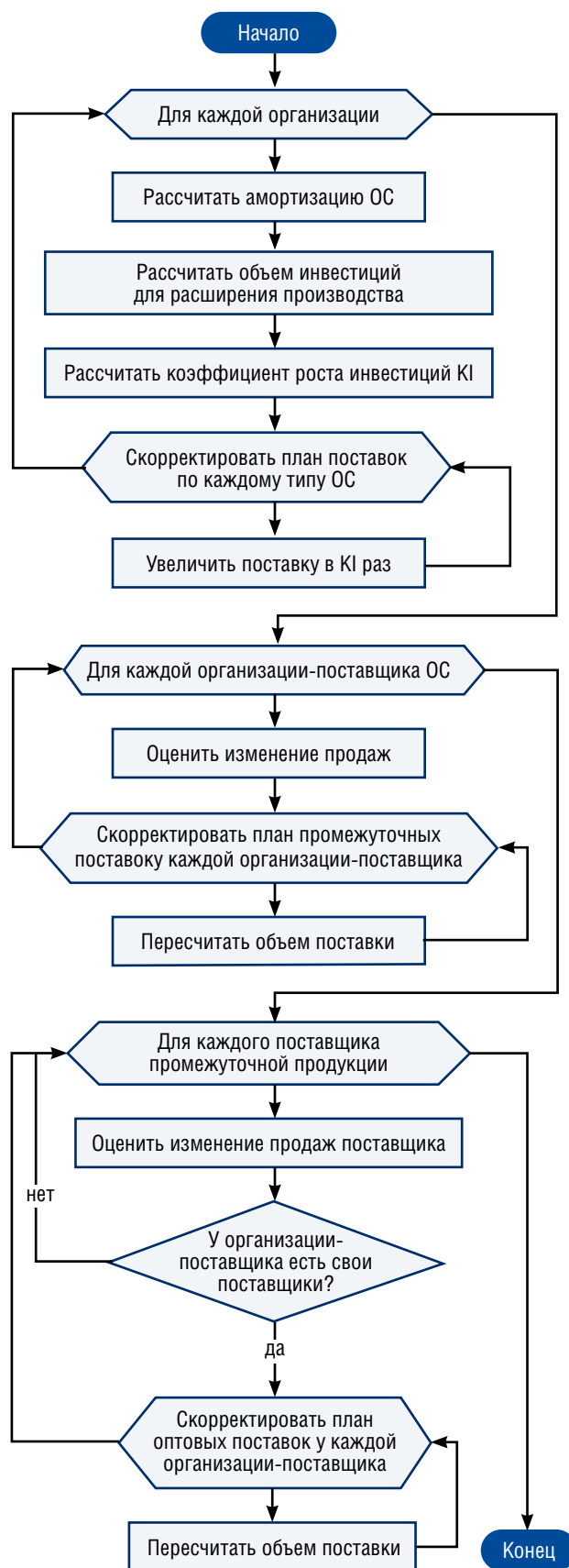


Рис. 3. Алгоритм расчета инвестиций.

В соответствии с рассчитанным коэффициентом $KI(t+1)_i^j$ корректируется план инвестиционных поставок организаций, затем происходит последовательная обработка организаций-поставщиков, в рамках которой корректируются значения их продаж и оборотных поставок. Порядок проверки организаций-поставщиков определяется их отраслевой принадлежностью: сначала организации, производящие конечную продукцию (легкая промышленность), затем промежуточную (производство топлива, материалов и химических продуктов), и в конце – сырье (сельское хозяйство и добывающая промышленность).

Для выхода алгоритма из рекурсии пересчета взаимных поставок в модель вводится допущение, разделяющее оборотные (зависящие от объема выпуска) и внеоборотные промежуточные поставки по отраслям поставщиков и покупателей. Поставки разделяются таким образом, чтобы в терминальных отраслях алгоритма (сельском хозяйстве и добывающей промышленности) все промежуточные поставки были внеоборотными. Это допущение позволяет избежать закливания алгоритма, поскольку последними обрабатываются организации отраслей, которые не нуждаются в корректировке оборотных поставок сырья из других отраслей при изменении выпуска.

4. Исходные данные

Информационное наполнение агент-ориентированной модели торговых войн осуществляется на основе данных официальных статистических ведомств: Всероссийской службы государственной статистики [30], Бюро экономического анализа США [31], Национального бюро статистики КНР [32] и Евростата [33], а также Всемирного банка [34]. Во всех представленных источниках доступны выборки по ключевым параметрам и их выгрузка в формате документов Excel, за исключением Национального бюро статистики КНР, которое публикует статистические ежегодники в виде картинок соответствующих страниц.

Наибольшую сложность на этапе информационного наполнения модели представляет сбор и унификация данных о хозяйственных взаимосвязях организаций в разных странах, в том числе межотраслевых поставках, импорте и экспорте различных видов продукции. Незаменимым источником таких данных являются таблицы «затраты-выпуск», которые публикуются для каждой из стран,

представленных в модели (Россия, Китай, США), а также стран Европейского союза, рассматриваемых как единое целое. В использовании официальных таблиц «затраты выпуск» для формирования таблиц исходных данных моделирования существуют две трудности. Во-первых, отраслевые классификаторы, применяемые для формирования таблиц межотраслевого баланса, отличаются в различных странах, и потому невозможно прямое сопоставление отраслей и продуктов. При достаточно большом сходстве классификаторов Евросоюза (63 отрасли) и России (60 отраслей), значительные отличия от них имеют США (71 отрасль) и Китай (17 отраслей). Для решения этой проблемы в модели создаются 11 укрупненных отраслей, каждая из которых соответствует одной или нескольким отраслям из межотраслевых балансов стран (табл. 2). Также отрасли модели сопоставляются со стандартной международной торговой классификации (СИТС) для агрегирования данных об импорте и экспорте стран.

Во-вторых, отличаются временные периоды, за которые представлены таблицы межотраслевого баланса: для всех стран доступны данные за 2019 год, за исключением Китая, для которого последние таблицы «затраты-выпуск» относятся к 2017 году. Чтобы обеспечить использование наиболее актуальной информации по всем странам, данные о выпуске и поставках отраслей актуализируются до 2019 года с использованием коэффициентов роста ВВП Китая, представленных на сайте Всемирного банка [34]:

$$a_{kl} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_{ij} \cdot \frac{va_i^{2019}}{va_i^{2017}},$$

где k – укрупненная отрасль в модели, включающая ряд отраслей экономики $i = \overline{1, n}$;

l – укрупненная отрасль в модели, включающая ряд отраслей экономики $j = \overline{1, m}$;

a_{kl} – поставки организации укрупненной отрасли k у организации укрупненной отрасли l ;

a_{ij} – поставки отрасли i у организации отрасли j по данным межотраслевого баланса;

va_i^{2019} и va_i^{2017} – добавленная стоимость отрасли i в 2019 и 2017 году соответственно.

ВВП остального мира рассчитывается на основе данных Всемирного банка как разница между глобальным ВВП (87 трлн долларов) и ВВП стран, рассматриваемых в модели (52,3 трлн долларов).

Таблица 2.

**Добавленная стоимость укрупненных отраслей в различных странах,
в единицах национальной валюты**

Отрасль в модели	Страна				
	РФ, млрд руб.	США, млрд долл.	ЕС, млрд евро	Китай, млрд юаней	Остальной мир, млрд долл.
Сельское хозяйство, производство продуктов питания	5865,7	441,3	511,8	10755,6	4015,6
Добыча полезных ископаемых	12622,5	293,3	42,2	3194,1	1192,5
Производство топлива	2545	157,4	60,6	2486,1	928,2
Государственный сектор	13827,5	4522,7	1384,8	8947,6	3340,6
Химическое производство	2080,6	534	433,2	4586,8	1712,5
Производство материалов	3993,9	383,8	393,1	3831,9	1430,6
Производство оборудования и транспорта	3166,9	860,4	874,9	7558,7	2822
Легкая промышленность	432,9	136,8	168	3983,9	1487,4
Услуги	35350,8	10503,9	8275,7	27388,2	10225,3
Торговля	12737,8	1934,9	1642,4	13941,8	5205,1
Строительство	5340,6	890,6	852,1	6241,6	2330,3
Итого в национальной валюте	97964,2	20659,1	14638,8	92916,3	34690,1
Итого в млрд долл. США	1687	20659,1	15689	14280	34690,1

Расчитано автором на основе данных ФСГС, Бюро экономического анализа США, Евростата, Национального бюро статистики КНР и Всемирного банка.

Отраслевую структуру экономики остального мира считаем аналогичной китайской, которая является самой крупной среди развивающихся стран. Результаты проведенных расчетов представлены в *таблице 1*. Информация об имеющихся у организаций основных средствах, их амортизации и вводе в эксплуатацию новых также приводится к виду укрупненных отраслей модели (*табл. 3*).

5. Сценарии

До 2020 года при построении прогнозов развития экономики России в качестве основных сценарных параметров учитывалась цена на нефть «Юралс», курс рубля к доллару США, инфляция, динамика ВВП, экспорт и импорт товаров [35]; при этом традиционными факторами риска считались снижение цены на энергоносители и снижение курса рубля отношению к доллару США.

Серьезные корректировки в формирование прогнозных сценариев внесла пандемия коронавируса, в связи с которой возникли такие трудности как замедление мировой экономики; снижение спроса на сырье, товары и услуги; падение в торговле, туризме, сфере общественного питания. Сохранение и введение эпидемиологических ограничений стало новым фактором риска в мировой экономике, влияющим на объем и структуру конечного спроса и, как следствие, на выпуск и занятость в ряде отраслей. В этом контексте были разработаны два сценария: оптимистический, предполагающий стабилизацию эпидемиологической обстановки, и пессимистический, при котором регулярно повторяются всплески заболеваемости, обуславливающие введение новых ограничений [12]. В настоящий момент более вероятным представляется консервативный эпидемиологический сценарий, в рамках которого повторение волн коронавирусной инфекции не приводит

Таблица 3.

Информация об основных средствах организаций в России

Отрасль в модели	Стоимость ОС, млрд руб.	Ввод ОС, млрд руб.	Амортизация ОС, млрд руб.
Сельское хозяйство, производство продуктов питания	9948,1	1045,2	408,8
Добыча полезных ископаемых	29774,9	3085,4	1115,1
Производство топлива	3532,9	340,7	237,3
Государственный сектор	23560,3	1348,3	2847,9
Химическое производство	3460,8	333,7	255
Производство материалов	6388,7	616,1	420,7
Производство оборудования и транспорта	5289,8	510,1	482,9
Легкая промышленность	744	71,8	70,1
Услуги	258369,6	14136,8	6005,5
Торговля	5567,8	560,9	2288,7
Строительство	3094,1	459,9	138,2
Итого:	349731	22508,9	14270,2

Рассчитано автором на основе данных ФСГС.

к дальнейшему замедлению мировой экономики, а вводимые эпидемиологические ограничения затрагивают лишь отдельные регионы.

После начала военной спецоперации России на Украине формирование прогнозных сценариев мировой экономики стало еще более сложной задачей. Со стороны США и Евросоюза вводятся беспрецедентные санкции, последствия которых затрагивают не только Россию, а весь мир. Наблюдаемые в последние месяцы явления показывают необходимость не только рассматривать новые факторы риска для российской и мировой экономики, но также их новые комбинации, в частности, курс рубля показал устойчивость, которая не наблюдалась ранее в кризисные периоды. При этом одним из значимых факторов риска остается инфляция, которая возникла на фоне колебаний курса рубля, однако после его стабилизации цены не вернулись к первоначальному уровню уже в силу давления со стороны предложения: разрыв между народными цепочек поставок и ожидаемый дефицит различных товаров и комплектующих.

Из перечисленных условий в рамках расчетов на агент-ориентированной модели торговых войн в качестве сценарных параметров учитывается курс рубля к доллару США, динамика цен на энергоносители и ожидаемая инфляция. В контексте политической ситуации предлагается три сценария:

1. Ужесточение санкций США и Евросоюза вплоть до ограничения их торгового обмена с Россией на 70–90%.
2. Сохранение санкций со снижением торгового обмена с недружественными странами на 40–60%.
3. Частичное смягчение санкций до 20–30% от объема импорта-экспорта.

Предлагаемые значения сценарных параметров представлены в *таблице 4*. Мировые цены на энергоносители находятся в прямой корреляции с вводимыми санкциями, поскольку растут на фоне дефицита и удорожания логистики, при этом в случае ужесточения санкций снижается цена, по которой Россия может их продавать, что обусловлено ограничением числа возможных покупателей. Несмотря на то, что меры, предприни-

маемые Банком России для стабилизации курса рубля, показали свою эффективность, для проведения расчетов в условиях сохранения и ужесточения санкций принимается прогнозный курс 75 и 90 рублей за доллар соответственно. Если курс рубля покажет свою стабильность в долгосрочной перспективе, то сценарии сохранения и ужесточения санкций потребуют корректировки этого параметра.

Ограничение торгового обмена между странами задается в виде ограничений на импорт и экспорт в процентах от их объема в предшествующем году (в *таблице 4* – в процентах от значений 2021 года). Динамика ВВП стран и объемы международной торговли рассчитываются по результатам выходных данных моделирования.

6. Результаты и обсуждение

Агент-ориентированная модель торговых войн была программно реализована на языке C# Microsoft Visual Studio на основе разработанных алгоритмов. Выбор программного средства обусловлен необходимостью работы с большим объемом данных и связанной с этим оптимизацией процедур и функций, что затруднительно в стандартных средах моделирования. Масштабирование модели было заложено на уровне 1:10000, таким образом всего было создано порядка 800000 агентов-жителей в пяти странах (Россия, США, Китай) и их объединениях (ЕС и укрупненный остальной мир). Информационное обеспечение модели формируется в виде базы данных на основе исходных данных, загружаемых в формате Excel (порядок преобразования статистических данных различных стран к общему формату рассмотрен в соответствующем разделе). Управление базой данных модели торговых войн осуществляется с помощью

СУБД PostgreSQL. Сценарные параметры также загружаются из таблицы, при этом переустанавливаются соответствующие параметры моделирования (инфляция, торговые ограничения между странами, курсы валют).

Целью проведения расчетов на разработанной модели является не столько построение прогнозов динамики экономики России, что является крайне сложной задачей в текущих условиях, сколько анализ сценарных отклонений при различном возможном сочетании внешних факторов и управляющих воздействий. Первая серия экспериментов состояла из трех расчетов, направленных на моделирование структурных изменений в торговых отношениях между странами и возрастающей потребности российской экономики в инвестициях в импортозамещающие проекты. Согласно заложенным сценарным параметрам, торговый оборот между Россией и западными странами (США и ЕС) в годовом исчислении снижается на 30%, 50% и 80% при смягчении, сохранении и ужесточении санкций соответственно, что частично компенсируется в денежном выражении за счет повышения цен. На основе выходных данных первой серии экспериментов проводится оценка объема инвестиций, требуемых для увеличения выпуска в пострадавших от санкций отраслях, причем в расчет принимается стоимость ввода в эксплуатацию новых импортозамещающих производств и исключаются затраты на поддержание фонда основных средств организаций (амортизационные отчисления) и ежегодные бюджетные затраты на национальную экономику. Полученные оценки для различных сценариев представлены в *таблице 5*.

Во второй серии расчетов проводилась оценка влияния объемов инвестирования на экономическую ситуацию в России. Для этого в рамках каждого сценария было рассмотрено шесть вариантов

Таблица 4.

Сценарные параметры

Сценарный параметр	Сценарий		
	Ужесточение санкций	Сохранение санкций	Смягчение санкций
Динамика мировых цен на энергоносители, %	-20	15	20
Курс рубля к доллару США	90	75	60
Ограничение торгового обмена России с недружественными странами, %	80	50	30

Таблица 5.

**Потребность экономики России в дополнительных инвестициях
в 2022 году, млрд. руб.**

Параметр	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
Объем дополнительных инвестиций	183	300	453

инвестиционной политики, где вариант №1 предполагает отсутствие дополнительных инвестиций для реализации программ импортозамещения, а вариант №6 – инвестирование всей необходимой расчетной суммы, представленной в *таблице 5*. Промежуточные варианты отражают варианты частичного дополнительного инвестирования: 20, 40, 60 и 80 процентов от необходимой расчетной суммы в каждом сценарии.

Представленные на *рисунке 4* графики отражают результаты проведенных 18 экспериментов, в качестве выходных данных которых рассматривался прогноз динамики ВВП России в текущем году относительно значений базового 2021 года. Анализ результатов второй серии экспериментов показывает, что влияние инвестиций на динамику ВВП тем сильнее, чем жестче вводимые санкционные ограничения со стороны западных стран.

Критически важное значение увеличение инвестиций приобретает в условиях сценария №3 (ужесточение санкций), в котором реализация полного спектра импортозамещающих программ позволяет сократить снижение ВВП с 12% до 10%. В условиях сценария №1 (смягчение санкций) экономика РФ показывает слабую зависимость от реализации инвестиционных проектов (менее 1% ВВП).

Для проведения третьей серии экспериментов в рамках каждого сценария были выбраны два варианта инвестиционной политики: вариант №2 (инвестирование 20% от необходимой расчетной суммы) и вариант №5 (инвестирование 80% от необходимой расчетной суммы) и проведено моделирование торговых отношений до 2025 года. В качестве выходного параметра моделирования также была выбрана динамика ВВП России, причем на графиках она представлена нарастающим итогом относительно значений базового года, что позволяет оценить скорость восстановления экономики к докризисным значениям.

На *рисунке 5* представлен прогноз прироста ВВП в условиях смягчения международных санкций.

После падения в текущем году экономика РФ показывает умеренный рост, и в трехлетнем периоде почти возвращается к докризисным значениям, при этом изменение объемов программы импортозамещения не вносит существенного вклада в этот процесс (разница составляет 0,6% ВВП за 3 года).

Согласно проведенным расчетам в условиях сохранения санкций экономика России не восстанавливается к докризисным значениям в

Динамика ВВП в текущем году,
% относительно базового года

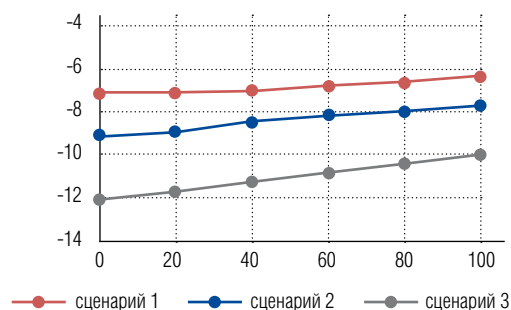


Рис. 4. Прогноз динамики ВВП России в условиях различных долей дополнительного инвестирования от требуемых расчетных значений.

Прирост ВВП нарастающим итогом,
% относительно базового года

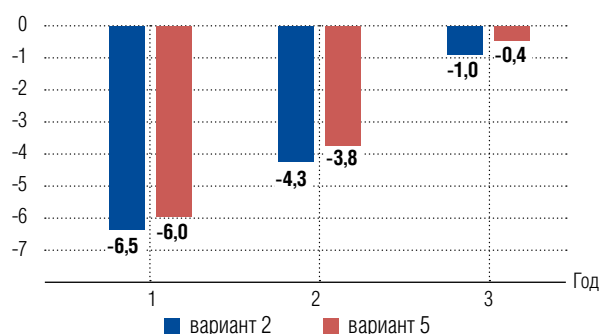


Рис. 5. Прогноз динамики ВВП России в условиях смягчения санкций (сценарий №1).

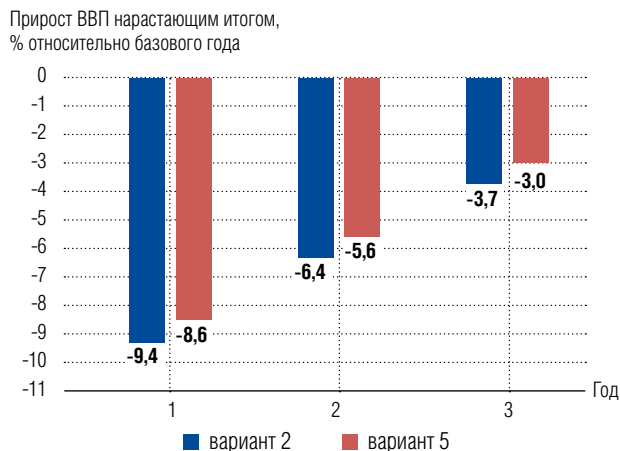


Рис. 6. Прогноз динамики ВВП России в условиях сохранения санкций (сценарий №2).

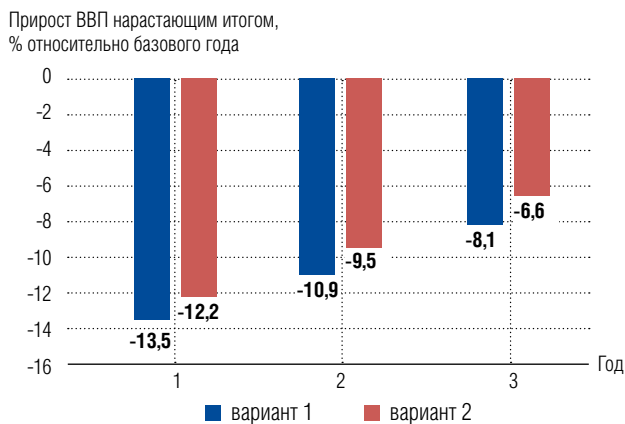


Рис. 7. Прогноз динамики ВВП России в условиях ужесточения санкций (сценарий №3).

трехлетнем периоде, при этом вклад программ импортозамещения в динамику ВВП также не слишком значительный: итоговый прирост за 3 года на 0,7% больше при инвестировании 80% от необходимого расчетного значения по сравнению с инвестированием 20% от него (рис. 6).

Восстановление экономики в условиях ужесточения санкций еще более замедляется, однако влияние объемов инвестирования возрастает: в трехлетнем периоде реализация программ импортозамещения на 80% от необходимого расчетного значения позволяет ослабить общее снижение до 6,6%, что на 1,5% превышает прирост ВВП относительно ожидаемых значений при реализации 20% программы инвестирования (рис. 7).

Таким образом, проведенные серии расчетов показывают, что влияние инвестиций на экономику, оцениваемое через прогноз динамики ВВП, является наиболее сильным при сохранении и ужесточении санкций со стороны западных стран. В этих условиях реализация программ импортозамещения в промышленности позволяют ускорить восстановление экономики и ускорить темпы ее роста после преодоления кризиса в среднем на 0,5% в год по сравнению с вариантом прогноза, где инвестиционные программы реализуются в меньших масштабах.

Полученные результаты основаны на ряде допущений, заложенных в агент-ориентированную модель торговых войн на этапе ее разработки. Во-первых, это допущение о полной замещаемости продуктов одной отрасли, благодаря которому попавшие под санкции товары и комплектующие можно заменить отечественными аналогами или поставками из нейтральных и дружественных стран. Во-вторых, не принимаются в расчет логистические проблемы и задержки, возникающие при смене поставщиков, особенно серьезные в силу географической удаленности дружественных азиатских и недружественных европейских стран; в силу этого допущения не учитываются простои на производстве при ожидании материалов и комплектующих. В-третьих, принимается допущение, что в мире имеются страны, не присоединившиеся к санкциям против России, желающие и способные поставлять требуемые виды продукции, что в условиях наиболее негативного внешнеполитического сценария может оказаться невыполнимым. Также в силу большого количества неопределенностей временной горизонт проведенных расчетов был ограничен тремя годами, хотя для всесторонней оценки эффекта от реализации масштабных инвестиционных проектов он должен быть расширен как минимум до 10 лет.

Заключение

В данной работе представлена компьютерная модель торговых войн, включающая в качестве ключевых участников мировой торговли Россию, США, Китай, Европейский союз и объединенный остальной мир. Модель основана на агент-ориентированном подходе и отражает взаимодействия трех видов агентов: стран, вводящих и снимающих торговые ограниче-

ния, организаций, осуществляющие закупки и производство продукции как для внутреннего рынка, так и на экспорт, и жителей, проживающих в странах, работающих в организациях и потребляющих их продукцию. Массивы исходных данных моделирования формировались на основе информации официальных статистических ведомств России, Китая, США, Евросоюза и Всемирного банка. Все загруженные в модель данные, в том числе о межотраслевых поставках, выпуске, импорте и экспорте различных видов продукции, были приведены к унифицированному виду. Для построения прогнозов было сформировано три сценария внешнеэкономической ситуации: смягчение введенных санкций, их сохранение и дальнейшее ужесточение, при этом в качестве сценарных параметров устанавливается инфляция, курсы мировых валют и доля торгового оборота между странами, попадающая под вводимые ограничения.

В качестве цели компьютерных экспериментов на модели торговых войн в данной работе была выбрана оценка потребности экономики России в дополнительных инвестициях в различные отрасли для масштабного импортозамещения продукции, поставляющейся их недружественных стран. Для решения этой задачи были проведены три серии расчетов. Первая серия из трех экспериментов была направлена на моделирование структурных изменений в торговых отношениях между странами в текущем году в условиях разработанных сценариев при допущении о неограниченных инвестиционных возможностях государства и организаций. По результатам этой серии была получена оценка объема инвестиций, требуемых для увеличения выпуска в пострадавших от санкций отраслях: 183 млрд. руб. в сценарии снятия санкций; 300 млрд. руб. при сохранении санкций; 453 млрд. руб. при их дальнейшем ужесточении. Во второй серии из 18 экспериментов проводилась оценка влияния объемов инвестирования на динамику ВВП России в текущем году, для этого в рамках

каждого сценария было рассмотрено шесть вариантов инвестиционной политики с различными объемами вложений в импортозамещающие производства. Результаты второй серии показывают, что зависимость ВВП от инвестиций достаточно сильная в условиях ужесточения санкций и сравнительно слабая при их смягчении. Для проведения третьей серии экспериментов из числа рассмотренных вариантов было выбрано по два для каждого сценария, и проведено моделирование на трехлетний период. Результаты третьей серии экспериментов также показывают, что влияние инвестиций на экономику является наиболее сильным при сохранении и ужесточении санкций. В этих условиях реализация программ импортозамещения в промышленности позволяет ускорить восстановление экономики в среднем на 0,5% ВВП в год.

Расчеты на разработанной модели позволяют оценить изменения в торговом обороте между странами в условиях изменяющихся ограничений, влияние этого процесса на производство различных видов продукции, а также взаимосвязь инвестиционной активности и общей экономической ситуации в различных странах. В данной работе были представлены построенные прогнозы для Российской Федерации, однако важным направлением дальнейших исследований является анализ последствий вводимых санкций для инициировавших этот процесс западных стран, а также рассмотрения сценария усиления торгового противостояния США и Китая в условиях потенциально возможного нового военного конфликта. ■

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке РНФ в рамках проекта №21-18-00136 «Разработка программно-аналитического комплекса для оценки последствий межстрановых торговых войн с приложением для функционирования в системе распределенных ситуационных центров России».

Литература

1. Aguiar A., Narayanan B., McDougall R. An overview of the GTAP 9 database // Journal of Global Economic Analysis. 2016. Vol. 1(1). P. 181–208. <https://doi.org/10.21642/JGEA.010103AF>
2. van der Mensbrugge D. The Standard GTAP Model in GAMS, Version 7 // Journal of Global Economic Analysis. 2018. Vol. 3(1). P. 1–83. <https://doi.org/10.21642/JGEA.030101AF>

3. Bollen J., Rojas-Romagosa H. Trade wars: Economic impacts of US tariff increases and retaliation: An international perspective. CPB Background Document / CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis. 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.cpb.nl/sites/default/files/omnidownload/CPB-Background-Document-November2018-Trade-Wars-update.pdf> (дата обращения: 25.05.2022).
4. McDonald S., Thierfelder K. Globe v2: A SAM based global CGE model using GTAP data [Электронный ресурс]: http://cgemod.org.uk/globev2_2014.pdf (дата обращения: 25.05.2022).
5. Bouët A., Laborde D. US trade wars with emerging countries in the 21st century. Make America and its partners lose again / IFPRI discussion paper. 2017. [Электронный ресурс]: <http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/131368> (дата обращения: 25.05.2022).
6. Li C., He C., Lin C. Economic impacts of the possible China-US trade war // *Emerging Markets Finance and Trade*. 2018. Vol. 54. P. 1557–1577. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2018.1446131>
7. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Стрелковский Н.В. Моделирование миграционных и демографических процессов с использованием FLAME GPU // *Бизнес-информатика*. 2022. Т. 16. № 1. С. 7–21. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.1.7.21>
8. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В. Агентное моделирование социально-экономических последствий миграции при государственном регулировании занятости // *Экономика и математические методы*. 2022. Т. 58. № 1. С. 113–130. <https://doi.org/10.31857/S042473880018960-5>
9. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. Цифровой завод: методы дискретно-событийного моделирования и оптимизации производственных характеристик // *Бизнес-информатика*. 2021. Т. 15. № 2. С. 7–20. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
10. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Ровенская Е.А., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. Агентное моделирование популяционной динамики двух взаимодействующих сообществ: мигрантов и коренных жителей // *Экономика и математические методы*. 2020. Т. 56. № 2. С. 5–19. <https://doi.org/10.31857/S042473880009217-7>
11. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В. Укрупненная агентно-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского Союза // *Экономика и математические методы*. 2019. Т. 55. № 1. С. 3–15. <https://doi.org/10.31857/S042473880004044-7>
12. Mashkova A., Bakhtizin A. Assessment of impact of trade wars on production and exports of the Russian Federation using the agent-based model // *Advances in Systems Science and Applications*. 2021. Vol. 21(4). P. 100–114.
13. Власов С.А., Сняжков А.А. Эффективность государственных инвестиций и выводы для денежно-кредитной политики в России // *Вопросы экономики*. 2020. № 9. С. 22–39. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-9-22-39>
14. Инвестиционная деятельность в российской экономике: проблемы и направления активизации / Е.Б. Шулёпов, К.А. Задумкин, Н.М. Румянцев, Е.В. Лукин // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2021. Т. 14. № 3. С. 83–98. <https://doi.org/10.15838/esc.2021.3.75.5>
15. Найденова Ю.Н., Леонтьева В.В. Влияние неопределенности экономической политики на инвестиции российских компаний // *Вопросы экономики*. 2020. № 2. С. 141–159. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-2-141-159>
16. Драпкин И.М., Лукьянов С.А., Бокова А.А. Влияние прямых иностранных инвестиций на внутренние инвестиции в российской экономике // *Вопросы экономики*. 2020. № 5. С. 69–85. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-5-69-85>
17. Сухарев О.С., Ворончихина Е.Н. Структурная динамика экономики: влияние инвестиций в старые и новые технологии // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2020. Т. 13. № 4. С. 74–90. <https://doi.org/10.15838/esc.2020.4.70.4>
18. Tesfatsion L. Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory // *Handbook of Computational Economics*. 2006. Vol. 2. No. 16. P. 831–880. [https://doi.org/10.1016/S1574-0021\(05\)02016-2](https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02016-2)
19. Lebaron B., Tesfatsion L. Modeling macroeconomies as open-ended dynamic systems of interacting agents // *American Economic Review*. 2008. Vol. 98. No. 2. P. 246–250. <https://doi.org/10.1257/aer.98.2.246>
20. Fagiolo G., Roventini A. Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: New developments and challenges ahead // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2017. Vol. 20(1). <https://doi.org/10.18564/jasss.3280>
21. Dosi G., Napoletano M., Roventini A., Treibich T. Micro and macro policies in the Keynes+Schumpeter evolutionary models. *Journal of Evolutionary Economics*. 2017. Vol. 27. P. 63–90. <https://doi.org/10.1007/s00191-016-0466-4>

22. Raberto M., Teglio A., Cincotti S. Integrating real and financial markets in an agent-based economic model: An application to monetary policy design // *Computational Economics*. 2008. Vol. 32(1). P. 147–162. <https://doi.org/10.1007/s10614-008-9138-2>
23. Gatti D.D., Gaffeo E., Gallegati M., Palestrini A. The apprentice wizard: Monetary policy, complexity and learning // *New Mathematics and Natural Computation*. 2005. Vol. 1. No. 1. P. 109–128. <https://doi.org/10.1142/S1793005705000068>
24. Alexandre M., Lima G.T. Combining monetary policy and prudential regulation: an agent-based modeling approach // *Journal of Economic Interaction and Coordination*. 2020. Vol. 15. P. 385–411. <https://doi.org/10.1007/s11403-017-0209-0>
25. Popoyan L., Napoletano M., Roventini A. Taming macroeconomic instability: Monetary and macro prudential policy interactions in an agent-based model // *Journal of Economic Behavior & Organization*. 2017. Vol. 134. P. 117–140. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2016.12.017>
26. Dosi G., Pereira M., Roventini A., Virgilito M.E. The effects of labour market reforms upon unemployment and income inequalities: an agent based model / Working Paper Series 2016/27, Laboratory of Economics and Management (LEM), Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, Italy, 2016.
27. Маматов А.В., Машкова А.Л., Новикова Е.В., Савина О.А. Воспроизведение динамики населения регионов России методом агентного моделирования // *Информационные системы и технологии*. 2019. № 2. С. 48–55.
28. Mashkova A.L., Nevolin I.V., Savina O.A., Buralina M.A., Mashkov E.A. Generating social environment for agent-based models of computational economy // Chugunov A., Khodachek I., Misnikov Y., Trutnev D. (eds) *Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE 2020)*. Communications in Computer and Information Science. Vol. 1349. Springer, Cham, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67238-6_21
29. Mashkova A.L., Novikova E.V., Savina O.A., Mamatov A.V., Mashkov E.A. Simulating budget system in the agent model of the Russian Federation spatial development // Chugunov A., Khodachek I., Misnikov Y., Trutnev D. (eds) *Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE 2019)*. Communications in Computer and Information Science. Vol. 1135. Springer, Cham, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39296-3_2
30. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс] <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 28.05.2022).
31. Бюро экономического анализа США. [Электронный ресурс] <https://www.bea.gov/> (дата обращения 25.05.2022).
32. Национальное бюро статистики КНР. [Электронный ресурс] <http://www.stats.gov.cn/english/> (дата обращения 24.05.2022).
33. Евростат. [Электронный ресурс] <https://ec.europa.eu/eurostat/> (дата обращения 28.05.2022).
34. Всемирный банк. [Электронный ресурс] <https://www.worldbank.org/en/home/> (дата обращения 25.05.2022).
35. Основные параметры сценарных условий прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов / Министерство экономического развития Российской Федерации. [Электронный ресурс] https://www.economy.gov.ru/material/file/c56d9cd0365715292055fe5930854d59/scenarnye_usloviya_2023.pdf (дата обращения 30.05.2022).

Об авторе

Машкова Александра Леонидовна

кандидат технических наук;

доцент кафедры информационных систем и цифровых технологий, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95;

старший научный сотрудник лаборатории компьютерного моделирования социально-экономических процессов, Центральный экономико-математический институт РАН, 117418, г. Москва, Нахимовский пр-т, д. 47;

E-mail: aleks.savina@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1701-5324

Dynamics of investments in Russia under the conditions of sanction restrictions: Forecast based on an agent-based model

Alexandra L. Mashkova

E-mail: aleks.savina@gmail.com

Orel State University named after I.S. Turgenev
Address: 95, Komsomolskaya Str., Orel 302026, Russia

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

Abstract

The situation of a trade war between Russia and Western countries is unprecedented in recent history, both in terms of the scale of the restrictions being introduced and because of their mutually dangerous nature, as a result of which the entire world economic system is experiencing difficulties. An urgent task is to develop an economic policy for Russia that will allow for a quick reorientation to Eastern markets and the use of new growth drivers. Evaluation of the effectiveness of the measures taken should be carried out using modern tools, one of which is agent-based economic models. Since Russia is not considered as a key player in the models of international trade relations developed in a number of countries, in order to assess the sanctions imposed against it, it was necessary to develop a new tool – an agent-based model of trade wars between Russia, the USA, China and the European Union. The purpose of the study presented in this article is to assess the need of the Russian economy for additional investments in various industries for large-scale import substitution of products till now supplied from unfriendly countries. To achieve this, the agent-based model reproduces the sectoral structure of the considered economies of the countries and trade relations among them that existed before the start of the special military operation, compiles scenarios of possible sanctions, and simulates the corresponding changes in international trade relations. As part of the scenario calculations, three series of experiments were carried out. In the first series, for each scenario the expected dynamics of Russia's GDP in 2022 was estimated in the context of organizing import substitution programs in key industries, and the cost of these programs was calculated. In the second series, the dependence of GDP dynamics on the volume of investments was studied. The third series simulated the dynamics of trade relations for the period up to 2025 for two investment policy options in each scenario. The results of the experiments also show that the impact of investments on the economy is stronger, the more severe the sanctions are, and under these conditions, the implementation of investment programs can accelerate economic recovery on average by 0.5% of GDP per year.

Keywords: trade wars, agent-based model, sanctions, scenario calculations, investment

Citation: Mashkova A.L. (2023) Dynamics of investments in Russia under the conditions of sanction restrictions: Forecast based on an agent-based model. *Business Informatics*, vol. 17, no. 1, pp. 18–36. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.18.36

References

1. Aguiar A., Narayanan B., McDougall R. (2016) An overview of the GTAP 9 database. *Journal of Global Economic Analysis*, vol. 1(1), pp. 181–208. <https://doi.org/10.21642/JGEA.010103AF>
2. van der Mensbrugge D. (2018) The Standard GTAP Model in GAMS, Version 7. *Journal of Global Economic Analysis*, vol. 3(1), pp. 1–83. <https://doi.org/10.21642/JGEA.030101AF>
3. Bollen J., Rojas-Romagosa H. (2018) *Trade wars: Economic impacts of US tariff increases and retaliation: An international perspective*. CPB Background Document. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis. Available at: <https://www.cpb.nl/sites/default/files/omnidownload/CPB-Background-Document-November2018-Trade-Wars-update.pdf> (accessed 25 May 2022).
4. McDonald S., Thierfelder K. (2014) *Globe v2: A SAM based global CGE model using GTAP data*. Available at: http://cgemod.org.uk/globev2_2014.pdf (accessed 25 May 2022).
5. Bouët A., Laborde D. (2017) *US trade wars with emerging countries in the 21st century. Make America and its partners lose again*. IFPRI discussion paper. Available at: <http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/131368> (accessed 25 May 2022).
6. Li C., He C., Lin C. (2018) Economic impacts of the possible China-US trade war. *Emerging Markets Finance and Trade*, vol. 54, pp. 1557–1577. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2018.1446131>
7. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Strelkovskiy N.V. (2022) Simulation of migration and demographic processes using FLAME GPU. *Business Informatics*, vol. 16, no. 1, pp. 7–21. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.1.7.21>
8. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya E.A., Strelkovskiy N.V. (2022) Agent-based modeling of social and economic impacts of migration under the government regulated employment. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 58, no. 1, pp. 113–130 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S042473880018960-5>
9. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2021) Digital plant: methods of discrete-event modeling and optimization of production characteristics. *Business Informatics*, vol. 15, no. 2, pp. 7–20. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
10. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Rovenskaya E.A., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2020) Agent-based modelling of population dynamics of two interacting social communities: migrants and natives. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 56, no. 2, pp. 5–19 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S042473880009217-7>
11. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya Ye.A., Strelkovskiy N.V. (2019) Aggregated Agent-Based Simulation Model of Migration Flows of the European Union Countries. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 55, no. 1, pp. 3–15 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S042473880004044-7>
12. Mashkova A., Bakhtizin A. (2021) Assessment of impact of trade wars on production and exports of the Russian Federation using the agent-based model. *Advances in Systems Science and Applications*, vol. 21(4), pp. 100–114.
13. Vlasov S.A., Sinyakov A.A. (2020) Public investment efficiency and monetary policy consequences: The case of investment ratio enhancing policy in Russia. *Voprosy Ekonomiki*, no. 9, pp. 22–39 (in Russian). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-9-22-39>
14. Shulepov E.B., Zadumkin K.A., Rummyantsev N.M., Lukin E.V. (2021) Investment activity in the Russian economy: activation problems and directions. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, vol. 14, no. 3, pp. 83–98. <https://doi.org/10.15838/esc.2021.3.75.5>
15. Naidenova I.N., Leonteva V.V. (2020) Economic policy uncertainty and investment of Russian companies. *Voprosy Ekonomiki*, no. 2, pp. 141–159 (in Russian). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-2-141-159>
16. Drapkin I.M., Lukyanov S.A., Bokova A.A. (2020) Influence of foreign direct investment on domestic investment in the Russian economy. *Voprosy Ekonomiki*, no. 5, pp. 69–85 (in Russian). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-5-69-85>
17. Sukharev O.S., Voronchikhina E.N. (2020) Structural dynamics of the economy: impact of investment in old and new technologies. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, vol. 13, no. 4, pp. 74–90. <https://doi.org/10.15838/esc.2020.4.70.4>
18. Tesfatsion L. (2006) Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory. *Handbook of Computational Economics*, vol. 2, no. 16, pp. 831–880. [https://doi.org/10.1016/S1574-0021\(05\)02016-2](https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02016-2)
19. Lebaron B., Tesfatsion L. (2008) Modeling macroeconomies as open-ended dynamic systems of interacting agents. *American Economic Review*, vol. 98, pp. 246–250. <https://doi.org/10.1257/aer.98.2.246>
20. Fagiolo G., Roventini A. (2017) Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: New developments and challenges ahead. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 20(1), 1. <https://doi.org/10.18564/jasss.3280>
21. Dosi G., Napoletano M., Roventini A., Treibich T. (2017) Micro and macro policies in Keynes+Schumpeter evolutionary models. *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 27, pp. 63–90. <https://doi.org/10.1007/s00191-016-0466-4>

22. Raberto M., Teglio A., Cincotti S. (2008) Integrating real and financial markets in an agent-based economic model: An application to monetary policy design. *Computational Economics*, vol. 32(1), pp. 147–162. <https://doi.org/10.1007/s10614-008-9138-2>
23. Gatti D.D., Gaffeo E., Gallegati M., Palestrini A. (2005) The apprentice wizard: Monetary policy, complexity and learning. *New Mathematics and Natural Computation*, vol. 1, pp. 109–128. <https://doi.org/10.1142/S1793005705000068>
24. Alexandre M., Lima G.T. (2020) Combining monetary policy and prudential regulation: an agent-based modeling approach. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, vol. 15, pp. 385–411. <https://doi.org/10.1007/s11403-017-0209-0>
25. Popoyan L., Napoletano M., Roventini A. (2017) Taming macroeconomic instability: Monetary and macro prudential policy interactions in an agent-based model. *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 134, pp. 117–140. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2016.12.017>
26. Dosi G., Pereira M., Roventini A., Virgilito M.E. (2016) The effects of labour market reforms upon unemployment and income inequalities: an agent based model. *Working Paper Series 2016/27, Laboratory of Economics and Management (LEM)*, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, Italy.
27. Mamatov A.V., Mashkova A.L., Novikova E.V., Savina O.A. (2019) Reproduction of dynamics of population of Russian regions using agent modeling. *Information Systems and Technologies*, no. 2(112), pp. 48–55 (in Russian).
28. Mashkova A.L., Nevolin I.V., Savina O.A., Butilina M.A., Mashkov E.A. (2020) Generating social environment for agent-based models of computational economy. In: Chugunov A., Khodachek I., Misnikov Y., Trutnev D. (eds) *Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE 2020)*. *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1349. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67238-6_21
29. Mashkova A.L., Novikova E.V., Savina O.A., Mamatov A.V., Mashkov E.A. (2020) Simulating budget system in the agent model of the Russian Federation spatial development. In: Chugunov A., Khodachek I., Misnikov Y., Trutnev D. (eds) *Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE 2019)*. *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1135. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39296-3_2
30. *Federal State Statistics Service*. Available at: <https://eng.rosstat.gov.ru/> (accessed 25 May 2022).
31. *Bureau of Economic Analysis*. Available at: <https://www.bea.gov/> (accessed 25 May 2022).
32. *National Bureau of Statistics of China*. Available at: <http://www.stats.gov.cn/english/> (accessed 25 May 2022).
33. *Eurostat*. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/> (accessed 25 May 2022).
34. *World bank*. Available at: <https://www.worldbank.org/en/home/> (accessed 25 May 2022).
35. *The main parameters of the scenario conditions for the forecast of the socio-economic development of the Russian Federation for 2023 and for the planned period of 2024 and 2025*. Ministry of Economic Development of the Russian Federation. Available at: https://www.economy.gov.ru/material/file/c56d9cd0365715292055fe5930854d59/scenarnye_usloviya_2023.pdf (accessed 25 May 2022) (in Russian).

About the author

Alexandra L. Mashkova

Cand. Sci. (Tech.);

Associate Professor of the Department of Information Systems and Digital Technologies, Orel State University named after I.S.Turgenev, 95, Komsomolskaya Str., Orel 302026, Russia;

Senior Researcher at the Laboratory of Computer Modeling of Socio-Economic Processes, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia;

E-mail: aleks.savina@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1701-5324

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.37.52

Распространение цифровых технологий в условиях внешних шоков: на примере пандемии COVID-19

Р.А. Щербаков 

E-mail: rashcherbakov@hse.ru

С.Г. Приворотская 

E-mail: sprivorotskaya@hse.ru

К.О. Вишневский 

E-mail: kvishnevsky@hse.ru

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

Аннотация

В статье исследуется влияние внешних шоков на распространение цифровых технологий. На примере пандемии COVID-19 выявлены и описаны четыре модели поведения (паттерна), которые отражают неравномерность распространения различных цифровых технологий в ответ на трансформацию внешних условий. Паттерны различаются как по масштабу воздействия пандемии, так и по срокам проявления возникающих эффектов. Критерий значимости технологий рассчитывался, как частота упоминаний соответствующих терминов в СМИ за период до и после пандемии. Крайне резкий рост значимости в начале COVID-19 и постепенное снижение на более поздних этапах продемонстрировали сервисы видеоконференций, непрерывности бизнеса и телемедицины. Более умеренная реакция в первые недели пандемии характерна для кластеров электронной коммерции и онлайн-развлечений. Отложенный характер эффектов наблюдается для сервисов цифровой логистики и цифровых валют, реакция которых проявилась значительно позже, чем по другим направлениям. Наконец, постепенное снижение значимости после начала пандемии оказалось свойственно технологиям в области биометрии и кибербезопасности. Аналогичные паттерны могут описывать трансформацию траекторий распространения цифровых технологий не только под влиянием COVID-19, но и в условиях резких экономических и социальных изменений иного происхождения.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровые технологии, распространение цифровых технологий, экономический шок, адаптация рынков, COVID-19

Цитирование: Щербаков Р.А., Приворотская С.Г., Вишневский К.О. Распространение цифровых технологий в условиях внешних шоков: на примере пандемии COVID-19 // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. № 1. С. 37–52. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.37.52

Введение

Пандемия COVID-19 ускорила распространение цифровых технологий в секторах экономики и социальной сферы. Многие компании, организации и государственные органы были вынуждены перейти к более интенсивной цифровой трансформации ключевых бизнес-процессов. В частности, из-за нормативных ограничений на физическое передвижение значительная часть транзакций была переведена в дистанционный формат [1–3]. Способность успешно внедрить и адаптировать цифровые технологии стала одним из факторов устойчивости и значимым конкурентным преимуществом бизнеса в условиях кризиса [4]. Инновационный потенциал компаний был частично перенаправлен на создание эффективных решений для борьбы с социальными и экономическими последствиями COVID-19. Таким образом, в ходе пандемии значительно расширился спектр использования цифровых решений (в том числе за счет распространения онлайн-образования, удаленной занятости, электронной коммерции, телемедицины и др.) [5].

Внешний шок, спровоцированный пандемией, привел к сдвигам в спросе и предложении на рынках цифровых продуктов и сервисов, многие из которых были широко распространены еще до ее начала (например, стриминговые платформы или платформы конференцсвязи). В условиях такого рода шоков изменения происходят неоднородно и могут характеризоваться различными рыночными паттернами (например, моментальная или отложенная реакция спроса, долгосрочный или временный характер изменений и др.) [6–7].

Эмпирические данные о влиянии COVID-19 на распространение цифровых технологий сформировали аналитическую базу для исследования. Это позволило сделать выводы о возможных типах реакции рынка и соответствующих им характеристиках технологических направлений (в том числе уровне зрелости, востребованности у потребителей, чувствительности к внешним факторам и др.)

1. Распространение технологий: теоретическая основа

Распространение новых технологий подвержено действию комплекса факторов. Более интенсивному внедрению цифровых технологий способствуют активизация предпринимательской активности,

развитие международной торговли и сопутствующий им экономический рост [8]. Кроме того, использование цифровых платформ и усиление сетевых эффектов способствуют углублению сотрудничества между компаниями и созданию партнерств, что стимулирует распространение технологий, например, в сфере электронной торговли, образования, финансов, здравоохранения, сельского хозяйства, транспорта, энергетики, промышленности и др. [9, 10]. Значительное влияние на скорость и глубину адаптации новых технологий оказывает качество человеческого капитала (в том числе уровень управленческих компетенций, технические навыки сотрудников и общий уровень образования) [11].

Процесс распространения технологий под влиянием отмеченных факторов описывается различными моделями. Эпидемиологические модели (epidemic models) связывают его с передачей информации от одних пользователей к другим по аналогии с процессом передачи болезней [12, 13]. В таких моделях распространение информации о технологиях описывается S-кривой, подчеркивая его нелинейный характер [14]. Другие подходы, например, пробит-модели (probit models), описывают факторы, которые влияют на адаптацию новой технологии на уровне отдельной компании или человека [15]. Если значимость фактора (например, такого как прибыль от внедрения технологии), превышает определённый предел, это приводит к успешному внедрению технологии [16]. Однако при использовании таких моделей учитываются долгосрочные тенденции и исключается влияние внешних шоков – событий, которые кардинальным образом могут изменить спрос или способы применения технологий. Именно такого рода трансформации являются ключевым предметом данного исследования.

2. Влияние пандемии COVID-19 на цифровые технологии

Возникновение внешних шоков в экономике искажает траектории распространения технологий и значительно повышает уровень неопределенности, затрудняя возможность прогнозирования их дальнейшего развития. Пандемия COVID-19 оказала значительное воздействие на уровень использования как уже широко представленных на рынке технологических решений, так и менее зрелых. В частности, стремительное распространение тех-

нологий, позволяющих поддерживать удаленный формат работы, рассматривается как один из самых значимых эффектов пандемии, который позволил преодолеть ряд ее негативных последствий [4, 17]. При этом повышенный спрос на подобные решения привел к расширению рисков безопасности данных, что также стимулировало рост потребности в технологиях кибербезопасности [18, 19].

Воздействию COVID-19 на цифровую трансформацию отдельных отраслей (особенно наиболее затронутых пандемией) уделяется значительное внимание в научной литературе. Наиболее осязаемые эффекты наблюдаются в сфере здравоохранения [3, 20, 21]. В частности, пандемия повысила востребованность телемедицины и ускорила ее внедрение [21]. Разрушение традиционных цепочек поставок стало также драйвером для внедрения технологий, связанных с транспортом и логистикой. В рамках реструктурированных цепочек поставок активно задействованы решения, которые до этого использовались в меньшем масштабе, в частности беспилотные летательные аппараты [22, 23]. Например, дроны активно применялись для обеспечения поставок лекарств, медицинских изделий и товаров первой необходимости, особенно в районы, труднодоступные для обычного транспорта [24].

Распространение технологий в условиях пандемии достаточно широко исследовано в академическом поле. При этом существует ряд пробелов в этой области. Практически отсутствуют исследования, в которых сопоставляется реакция отдельных цифровых решений (в том числе продуктов и сервисов) на эффекты пандемии. Также, следует отметить недостаточное внимание исследователей к вопросам изменения моделей и характера распространения цифровых технологий под влиянием пандемии.

Для заполнения существующих пробелов была поставлена следующая исследовательская цель: выявить возможные паттерны распространения цифровых технологий под влиянием внешних шоков путем анализа динамики распространения цифровых технологий в условиях пандемии COVID-19.

3. Методы

В работе используются статистические методы для оценки и интерпретации количественных метрик, полученных на основе интеллектуального анализа больших данных. Такой подход позволяет ответить на поставленные вопросы, так как де-

лает возможным измерение показателей, характеризующих технологические тренды и их динамику. Описательное эмпирическое исследование дает возможность представить интегральную картину развития цифровых технологий в условиях пандемии, а также дополнить существующие научные работы по этой тематике.

Для формирования эмпирической базы применена система интеллектуального анализа больших данных, разработанная в Институте статистических исследований и экономики знаний Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (ИСИЭЗ НИУ ВШЭ) – iFORA (Intellectual foresight analytics) [25]. В качестве метрик для оценки динамики цифровых технологий были использованы показатели значимости и динамичности той или иной тематики в профессиональных англоязычных СМИ за два периода: 2018–2019 гг. (допандемийный период) и 2020–2022 гг. (период пандемии и постпандемии). Объем корпуса использованных текстов составляет 548 тыс. источников. Корпус включает в себя новостные публикации в профессиональных деловых и специализированных отраслевых СМИ, а также официальные пресс-релизы компаний в области цифровых технологий.

По результатам интеллектуального анализа больших данных был осуществлен расчет следующих показателей:

1. **Значимость** – относительная частотность упоминания тематики в документах по анализируемому направлению:

$$FREQ = \sum_{i=1}^T f_i, \quad (1)$$

где $FREQ$ – показатель частотности;

f_i – встречаемость термина в i -й год;

T – количество лет, $i = 1, \dots, T$.

2. **Динамичность** – среднегодовой темп роста частотности упоминаний:

$$AAGR = \frac{1}{T} \left(\frac{\sum_{i \geq T/2} f_i}{\sum_{i \leq T/2} f_i} - 1 \right), \quad (2)$$

где $AAGR$ – показатель темпа роста,

f_i – встречаемость термина в i -й год,

T – количество лет, $i = 1, \dots, T$.

Показатели рассчитаны на основе ключевых слов (*приложение 1*) по технологическим областям (кластерам), которые включают в себя цифровые

решения, ставшие актуальными в использовании за время пандемии. Выбор технологических областей осуществлялся на основе сканирования актуальной технологической повестки во время пандемии COVID-19 с использованием базы ОЭСР COVID-response Tracker OECD OPSI, где собраны эффективные цифровые решения против пандемии, применяемые в разных странах [26]. Исследование базируется на анализе по девяти кластерам, включая: видеоконференции, сервисы непрерывности бизнеса, телемедицину, сервисы цифровой логистики, цифровые валюты, электронную коммерцию, сервисы онлайн-развлечения, кибербезопасность и биометрию. На основе базы ОЭСР была сформирована подборка ключевых терминов, отражающих наиболее распространённые цифровые решения, сгруппированные в девять кластеров. Термины, отсутствующие в корпусе текстов, а также выбросы (термины с частотностью упоминаний близкой к нулю и общие термины с завышенной частотностью) были удалены из перечня ключевых слов.

Выбранный инструментарий позволяет отслеживать актуальные изменения динамики цифровых технологий с незначительной задержкой, что достигается за счет постоянного обновления базы документов iFORA. Таким образом, становится возможным получение данных за 2021 г. и начало

2022 г., что не всегда может быть достигнуто при использовании традиционных статистических метрик. Более того, нормированные метрики, оцененные по результатам анализа больших данных, позволяют сравнивать разные технологические тренды с использованием единой шкалы. В отличие от традиционных исследований, основанных на анализе данных поисковых запросов (internet search) по не специфицированному перечню источников, анализ с использованием iFORA основывается на корпусе документов, специализированных в сфере цифровых технологий, из базы профессиональных СМИ (включая отраслевые и деловые СМИ, пресс-релизы компаний по тематике цифровых технологий и др.)

Аналогичный подход, основанный на анализе значимости тематик в СМИ в системе iFORA, широко применяется исследователями для выявления и описания рыночных трендов в различных секторах экономики (сельское хозяйство и продовольственный сектор [25]; мобильная коммерция [27]; добывающая промышленность [28, 29].

4. Результаты и обсуждение

Как показывают результаты анализа, пандемия оказала крайне неравномерное воздействие на распространение отдельных технологических

Таблица 1.

Динамика распространения технологических областей в 2019–2021 гг.

Технологические области (кластеры)	Темпы прироста значимости (динамичность), в % к предыдущему году		
	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Сервисы непрерывности бизнеса	1,4%	214,8%	1,6%
Сервисы видеоконференций	10,1%	156,8%	-11,5%
Цифровые валюты	17,9%	120,2%	52,4%
Телемедицина	3,3%	74,4%	23,9%
Цифровая логистика	2,7%	28,4%	10,2%
Электронная торговля	-10,8%	15,0%	6,1%
Онлайн-развлечения	25,5%	9,5%	-4,0%
Биометрия	1,0%	-17,2%	10,2%
Кибербезопасность	3,0%	-19,5%	21,9%

Источник: расчеты авторов на основе результатов интеллектуального анализа больших данных в системе iFORA.

областей (таблица 1). Наиболее резкий рост в 2020 г. продемонстрировали сервисы непрерывности бизнеса и видеоконференций, цифровые валюты, а также телемедицина. При этом динамичность по ряду кластеров, включая биометрию и кибербезопасность, в этот же период была отрицательной. В 2021 г. наблюдается замедление эффектов от пандемии: уровень динамичности для сервисов непрерывности бизнеса, видеоконференций цифровых валют, а также телемедицины значительно ниже, чем в 2020 г. Для остальных кластеров за этот период отмечаются менее резкие изменения — происходит постепенная адаптация рынков.

Анализ динамики распространения технологических областей с 2018 г. по начало 2022 г. позволил выявить четыре паттерна распространения цифровых технологий в условиях пандемии COVID-19: (1) шоковое воздействие, (2) умеренный эффект, (3) отложенный эффект, (4) негативный эффект.

Паттерн 1: шоковое воздействие

Паттерн характеризуется резким повышением значимости в краткосрочном периоде (в начале пандемии) и постепенным нисходящим трендом в течение остального периода наблюдений.

Такого рода траектория изменений тренда во время пандемии COVID-19 характерна для таких технологических областей как сервисы непрерывности бизнеса, видеоконференции и телемедицина. Резкий скачок значимости для всех сервисов из этой группы пришелся на март — середину апреля 2020 г. (рис. 1). Однако, после достижения пиковых показателей в апреле, кластеры показали резкое снижение значимости до сентября-октября 2020 г., что указывает на ослабление эффектов в этот период.

Шоковый характер реакции связан в первую очередь с тем, что все технологии из этой группы напрямую использовались для борьбы с последствиями пандемии. Результаты настоящего исследования соответствуют ранее опубликованным выводам о шоковом повышении спроса на телемедицину в первые недели пандемии [30]. В то же время, несмотря на постепенное снижение значимости по этим кластерам к началу 2022 г., она сохраняется на более высоком уровне, чем в период до пандемии, что говорит о глубоком, долгосрочном воздействии.

При этом траектория развития в области телемедицины отличается от двух других кластеров: достигнутые в марте-апреле 2020 г. (шоковый период) показатели значимости оказываются более устойчивыми и не так существенно снижаются по мере спада

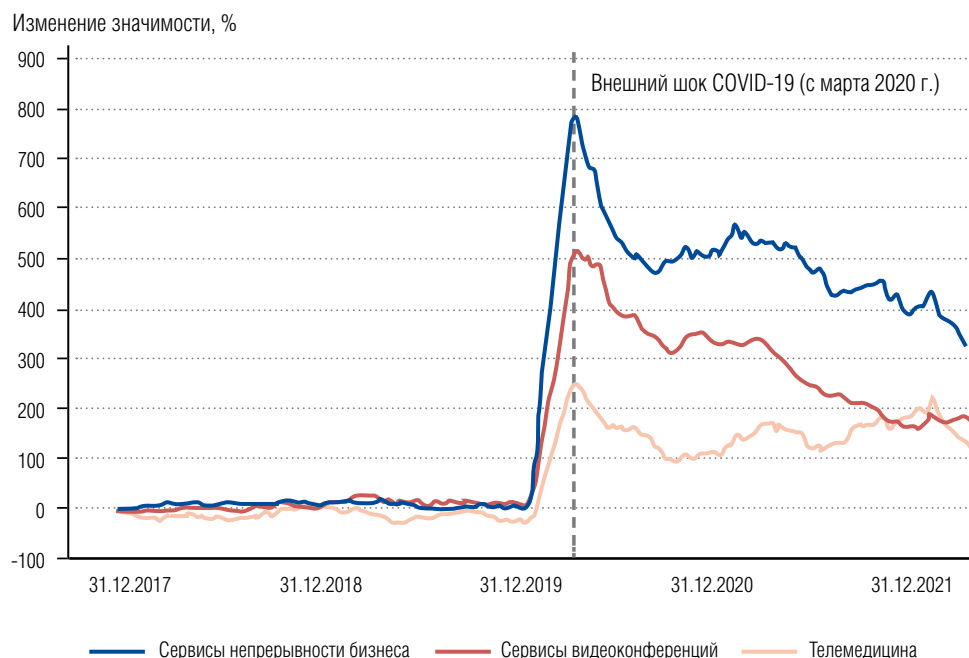


Рис. 1. Паттерн 1: изменение значимости в 2018–2022 гг. (в % к уровню на 31.12.2017).
Источник: расчеты авторов на основе интеллектуального анализа больших данных в системе iFORA.

пандемии. Подобное поведение тренда может указывать на постепенную адаптацию телемедицинских технологий к условиям после пандемии COVID-19 и постепенному расширению их применения. В ряде исследований были обнаружены качественные изменения в статусе телемедицины, которая получила большее признание, как среди медицинских работников, так и пациентов [31]. Вместе с тем, дальнейший рост спроса в этой области, как подтверждают другие авторы, ограничивается барьерами, связанными с обеспечением конфиденциальности данных, незрелостью технологии и др. [32].

Паттерн 2: умеренный эффект

Паттерн характеризуется умеренным повышением значимости технологических областей в начале пандемии. При этом в отличие от первого паттерна резкое снижение значимости после периода проявления внешнего шока (март-апрель 2020 г.) не наблюдается.

С марта 2020 г. резко выросла значимость для кластеров электронной коммерции и онлайн-развлечений. Так же, как и в рамках предыдущего паттерна высокие показатели достигнуты в апреле 2020 г., однако масштабы изменений не позволяют говорить об их шоковом характере (рис. 2). В частности изменение значимости за март-апрель

2020 г. составило 30–35 процентных пунктов (п.п.), в то время как для кластеров видеоконференций, непрерывности бизнеса и телемедицины рост составлял более 100 п.п. При этом показатели апреля 2020 г. не являются пиковыми для этих кластеров. В целом наблюдается слабый рост в начальный период пандемии (табл. 1), что также указывает на отсутствие признаков шоковых изменений как в случае с предыдущим паттерном. В то же время, после 2021 г. темпы прироста для обоих кластеров снизились.

Более умеренная реакция на пандемию может быть связана с тем, что технологии, относящиеся к двум анализируемым кластерам, не использовались непосредственно в качестве ответа на пандемию, как телемедицина или видеосервисы. Более того, ряд исследований показывают, что нарушения глобальных цепочек поставок также негативно повлияли на предложение в электронной коммерции, при наличии высокого спроса, что подтверждает ее ограниченный рост за наблюдаемые период [33]. Кроме того, в секторе онлайн-развлечений, несмотря на возросший спрос на цифровые платформы во время пандемии, изменились спрос и предложение на другие сервисы, например, стали невозможны выставки, фестивали, ограничилось производство фильмов и пр. [34]. В результате в случае этих кластеров можно говорить о менее выраженной реакции на воздействие пандемии.



Рис. 2. Паттерн 2: изменение значимости в 2018–2022 гг. (в % к уровню на 31.12.2017).
Источник: расчеты авторов на основе интеллектуального анализа больших данных в системе iFORA.

Паттерн 3: отложенный эффект

Паттерн характеризуется значительно более поздним достижением пиковых показателей значимости за наблюдаемый период, а также отсутствием шоковой реакции в начале пандемии, что указывает на отложенный характер трансформационных эффектов.

Отложенный характер влияния пандемии на распространение этих технологических областей связан с необходимостью адаптации технологий к новым условиям. Так, значимость цифровой логистики достигла самых высоких показателей только к концу 2020 г. (рис. 3). Аналогичную траекторию за тот же период продемонстрировали показатели значимости для цифровых валют.

Отложенные эффекты пандемии также упоминаются в ранее проведенных исследованиях. По утверждению ряда авторов, только в долгосрочной перспективе инновационные цепочки поставок будут играть важную роль в удовлетворении спроса на определенные продукты, что помогает снизить негативные последствия пандемии [23]. В то же время, рост цифровых валют обоснован постепенной адаптацией финансового регулирования к условиям пандемии и использованием цифровых валют для стимулирования восстановления экономики. Результаты других исследований также подтверждают положительный стимулирующий эффект от циф-

ровых валют на электронную торговлю в Китае, что сделало их предметом финансового регулирования и привело к ускоренному распространению [35, 36].

Паттерн 4: негативный эффект

Паттерн характеризуется отсутствием роста значимости после начала пандемии и сохранением негативной динамики на протяжении всего периода наблюдений.

Показатели значимости технологий биометрии и кибербезопасности, в отличие от остальных, продемонстрировали плавный нисходящий тренд на протяжении всего периода наблюдений (рис. 4). При этом в начале пандемии (март-апрель 2020 г.) для обеих технологических областей наблюдается спад значимости, который, однако, не был резким и составил порядка 15–20 п.п. В то же время, несмотря на положительные темпы прироста в 2021 г. (табл. 1) значимость обеих технологических областей не вернулась к показателям до пандемии. Можно сказать, что после пандемии их значимость в деловой повестке не упала существенно, но при настоящих темпах прироста значимости возврат к допандемийным уровням так и не произошел. Сделать выводы о глубине влияния пандемии на эти кластеры будет возможно только в более долгосрочной перспективе.

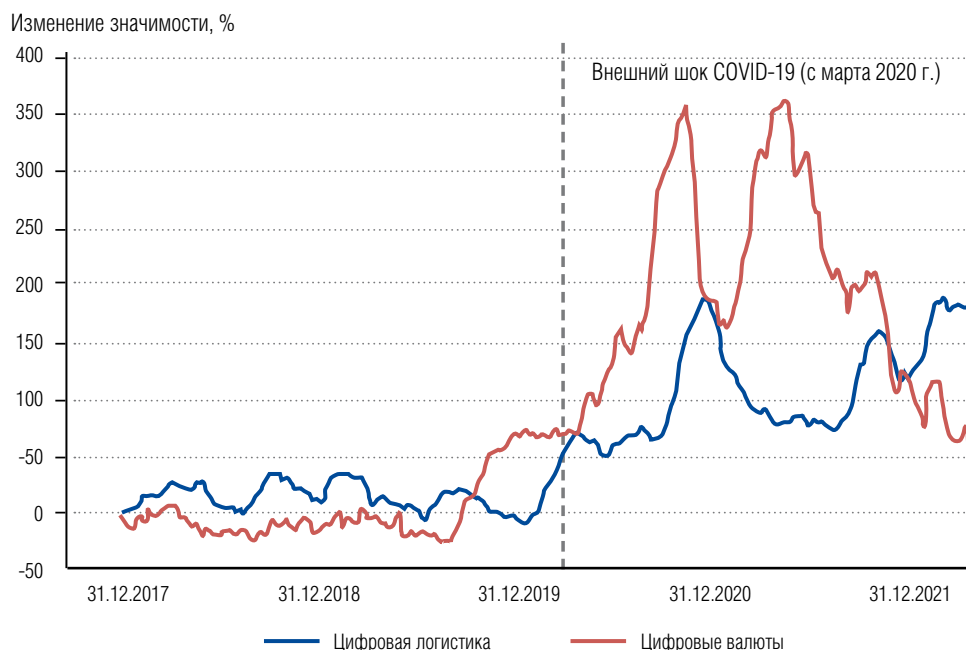


Рис. 3. Паттерн 3: изменение значимости в 2018–2022 гг. (в % к уровню на 31.12.2017).
Источник: расчеты авторов на основе интеллектуального анализа больших данных в системе iFORA.



Рис. 4. Паттерн 4: изменение значимости в 2018–2022 гг. (в % к уровню на 31.12.2017).
Источник: расчеты авторов на основе интеллектуального анализа больших данных в системе iFORA.

При этом результаты настоящего исследования не подтверждают результаты ранее опубликованных работ. В частности, ряд авторов пришли к выводам о возрастающей потребности в сервисах кибербезопасности после начала COVID-19 [18, 19]. В настоящем исследовании продемонстрировано постепенное восстановление положительной динамики значимости кибербезопасности к концу 2020 г. и 2021 г., что может быть связано с постепенной адаптацией общества к возросшему использованию других цифровых технологий и росту спроса на решения для кибербезопасности.

Таким образом, в условиях внешнего шока произошли существенные сдвиги на рынках всех проанализированных технологических областей, при этом наблюдаются ощутимые различия в их характере. «Поведение» каждого отдельного кластера определяется спецификой включенных в него технологий, в том числе уровнем их зрелости, шириной применения в отраслях, степенью влияния пандемии на ключевые сферы их применения и др. Аналогичные паттерны могут описывать изменения траекторий распространения цифровых технологий в условиях турбулентности внешней среды, вызванных разного рода экономическими и социальными потрясениями.

Заключение

Резкие изменения конъюнктуры и рост уровня неопределенности значительно усложняют процесс принятия решения для экономических субъектов. Предложенный в статье подход позволяет выявить закономерности в реакции рынков цифровых продуктов и сервисов на внешние шоки и, тем самым, дает возможность повысить предсказуемость возможных изменений.

Эмпирические наблюдения в период пандемии COVID-19 (2020–2022 гг.), полученные с использованием интеллектуального анализа больших данных, позволили систематизировать возможные типы реагирования цифровых технологий на внешние шоки. Благодаря своей универсальности, предложенный подход может применяться для оценки последствий внешних шоков различного происхождения. Во-первых, сквозные метрики, отражающие значимость в повестке, дают возможность оценить количественно масштаб реакции различных технологических трендов и сопоставить их между собой. Во-вторых, доступ к наиболее актуальной информации позволяет оперативно отслеживать и реагировать на подобные изменения. В-третьих, в результате становится возможным выявление определенных закономерностей и дальнейшая их классификация.

Анализ на примере пандемии отражает крайне неравномерное воздействие шоков на траектории распространения цифровых технологий. Выделенные четыре паттерна отличаются как по силе трансформационного воздействия (от умеренного до ярко выраженного), так и по срокам проявления возникших эффектов (от моментальной до отложенной долгосрочной реакции).

Резкий рост «в моменте» и последующее замедление при сохранении общей положительной тенденции характерны для технологических решений первого паттерна. Для кластеров этой группы можно говорить о наличии более глубоких структурных изменений, которые сохранились в период постпандемии. Менее выраженные или отложенные эффекты в среднесрочной перспективе свойственны второму и третьему паттерну. Такая реакция связана с менее выраженной чувствительностью технологий к изменению конъюнктуры и наличием определенного временного лага для адаптации к изменившейся ситуации.

По мере ослабления влияния фактора COVID-19 наблюдается и обратный процесс – «децифровизации» для тех направлений, где издержки уско-

ренной цифровизации были слишком высоки. В рамках четвертого паттерна наблюдается негативная динамика в ответ на внешние изменения. В этом контексте, внешние шоки, имеющие временный характер, могут не приводить к долгосрочной структурной трансформации, но лишь ускорять существующий тренд (с возможным последующим «откатом»).

Выявление такого рода паттернов выступает важным элементом прогнозирования экономического и социального развития, как для государства, так и для бизнеса. Представленные результаты могут быть обобщены для комплексного анализа факторов, способствующих изменению бизнес-процессов, перестройке цепочек создания стоимости, сдвигам на рынках цифровых продуктов и сервисов, а также слому соответствующих технологических трендов. ■

Благодарности

Статья подготовлена в рамках Программы фундаментальных исследований Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Приложение 1.

Список ключевых слов для технологических кластеров

Кластеры	Ключевые слова
Сервисы видеоконференций	Video conferencing app
	Video conference
	Video conferencing tool
	Video conferencing solution
	Video conferencing
	Video conferencing platform
	Cisco webex
	Video conferencing service
	Video conferencing software
	Video meeting
	Microsoft teams
	Zoom
	Teleconferencing

Кластеры	Ключевые слова
Сервисы видеоконференций	Video communication
	Virtual conference room
	Virtual conferencing
	Online conferencing
	Videoconferencing solution
	Videoconferencing software
	Сервисы поддержания непрерывности бизнеса
Business continuity	
Remote workforce	
Business solution application	
Remote collaboration	
Remote worker	

Кластеры	Ключевые слова
Сервисы поддержки непрерывности бизнеса	Real time intelligence
	Remote employee
	Business continuity tool
	Remote work
	Remote collaboration tool
	Virtual workspace
	Virtual collaboration
	Online collaboration tool
	Virtual collaboration platform
	Collaboration software
	Digital work environment
	Collaboration technology
	Virtual whiteboard
	Cloud base collaboration
	Cloud base communication
	Online collaboration platform
	Enterprise collaboration platform
Цифровая логистика	Logistic supplier
	Logistical arrangement
	Logistic centre
	Logistical challenge
	Logistic app
	Supply chain AND digital service
	Transport AND digital service
	Logistic AND digital service
	Supply chain AND digital solution
	Management tool AND supply chain
	Logistics AND digital solution
	Logistic hub
	Digital logistics
Телемедицина	Telehealth vendor
	Telehealth service
	Telemedicine service
	Telehealth visit

Кластеры	Ключевые слова	
Телемедицина	Telehealth platform	
	Telehealth provider	
	Telehealth company	
	Virtual doctor	
	Telehealth consultation	
	Telehealth program	
	Telehealth solution	
	Virtual care	
	Telehealth	
	Telemedicine	
	Remote consultation	
	Mobile telehealth	
	Telehealth policy	
	Telemedicine consult	
	Online care	
	Электронная коммерция	Online delivery service
		Pickup and delivery service
Grocery delivery service		
Food delivery service		
Grocery delivery		
Delivery service		
Home delivery service		
Online shopping		
Food delivery		
Google pay		
E commerce		
E commerce platform		
Ecommerce business		
Ecommerce store		
Last mile delivery		
Digital commerce		
E commerce delivery		
Virtual marketplace		

Кластеры	Ключевые слова
Онлайн-развлечения	Home broadcast
	Virtual museum
	Online entertainment
	Streaming service
	Streaming platform
	Virtual sport
	Virtual tourism
	Digital entertainment
	Streaming content
	Virtual gallery
	Virtual tour
	Virtual travel
	Virtual entertainment
	Virtual fashion
Кибербезопасность	Cybersecurity policy
	Cybersecurity concern
	Cyber risk
	Cyber criminal
	Cyber threat
	Cybersecurity company
	Cybersecurity service
	Cybersecurity strategy
	Cybersecurity industry
	Cybersecurity tool
	Cybersecurity product
	Cyber defense
	Zero trust
	Information security
	Critical infrastructure protection
	Cybersecurity solution
	Cybersecurity technology
Cybersecurity innovation	
Information security solution	
Data security	

Кластеры	Ключевые слова
Цифровые валюты	E krona
	Digital fiat currency
	Digital dollar
	Digital euro
	Digital yuan
	Central bank digital currency
	Digital fiat
	Bank issue digital currency
	Digital ruble
	Bank digital currency
	Digital renminbi
	CBDC
	Digital RMB
DFC	
Биометрия	Face recognition
	Biometric identification
	Fingerprint biometric
	Biometric data
	Retina scan
	Face biometric
	Biometric technology
	Voice biometric
	Biometric solution
	Iris recognition
	Biometric research
	Mobile biometric
	Biometric application
	Biometric method
	Facial biometric
	Biometric reader
	Biometric identification system
Biometric device	
Biometric information	
Multimodal biometric	

Литература

1. Sokhulu L.H. Students' experiences of using digital technologies to address their personal research needs during the COVID-19 lockdown // *African Identities*. 2021. Vol. 19. No. 4. P. 436–452. <https://doi.org/10.1080/14725843.2020.1801384>
2. Beardsley M., Albó L., Aragón P., Hernández-Leo D. Emergency education effects on teacher abilities and motivation to use digital technologies // *British Journal of Educational Technology*. 2021. Vol. 52. No. 4. P. 1455–1477. <https://doi.org/10.1111/bjet.13101>
3. Bokolo A.J. Use of telemedicine and virtual care for remote treatment in response to COVID-19 pandemic // *Journal of Medical Systems*. 2020. Vol. 44. No. 7. P. 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10916-020-01596-5>
4. Papadopoulos T., Baltas K.N., Balta M.E. The use of digital technologies by small and medium enterprises during COVID-19: Implications for theory and practice // *International Journal of Information Management*. 2020. Vol. 55. 102192. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102192>
5. Oldekop J.A., Horner R., Hulme D., et al. COVID-19 and the case for global development // *World development*. 2020. Vol. 134. 105044. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105044>
6. Caselli F., Coleman W.J. Cross-country technology diffusion: The case of computers // *American Economic Review*. 2001. Vol. 91. No. 2. P. 328–335. <https://doi.org/10.1257/aer.91.2.328>
7. Geroski P.A. Models of technology diffusion // *Research policy*. 2000. Vol. 29. Nos. 4–5. P. 603–625. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00092-X](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00092-X)
8. Mayer J. Technology diffusion, human capital and economic growth in developing countries // *United Nations Conference on Trade and Development*. 2001. UNCTAD Discussion Papers 154. https://unctad.org/en/docs/dp_154.en.pdf
9. Lin H.F., Lin S.M. Determinants of e-business diffusion: A test of the technology diffusion perspective // *Technovation*. 2008. Vol. 28. No. 3. P. 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2007.10.003>
10. Цифровые технологии в российской экономике / К.О. Вишнеvский, Л.М. Гохберг, В.В. Дементьев и др.; под ред. Л.М.Гохберга. М.: НИУ ВШЭ, 2021. <https://doi.org/10.17323/978-5-7598-2199-1>
11. Nicoletti G., von Rueden C., Andrews D. Digital technology diffusion: A matter of capabilities, incentives or both? // *European economic review*. 2020. Vol. 128. 103513. <https://doi.org/10.1016/j.eurocorev.2020.103513>
12. Rao K.U., Kishore V.V.N. A review of technology diffusion models with special reference to renewable energy technologies // *Renewable and sustainable energy reviews*. 2010. Vol. 14. No. 3. P. 1070–1078. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.007>
13. Geroski P.A. Models of technology diffusion // *Research policy*. 2000. Vol. 29. Nos. 4-5. P. 603–625. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00092-X](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00092-X)
14. Christensen C.M. Exploring the limits of the technology S-curve. Part I: Component technologies // *Production and operations management*. 1992. Vol. 1. No. 4. P. 334–357. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.1992.tb00001.x>
15. Shampine A. Compensating for information externalities in technology diffusion models // *American Journal of Agricultural Economics*. 1998. Vol. 80. No. 2. P. 337–346. <https://doi.org/10.2307/1244506>
16. Mittal S., Mehar M. Socio-economic factors affecting adoption of modern information and communication technology by farmers in India: Analysis using multivariate probit model // *The Journal of Agricultural Education and Extension*. 2016. Vol. 22. No. 2. P. 199–212. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2014.997255>
17. Nagel L. The influence of the COVID-19 pandemic on the digital transformation of work // *International Journal of Sociology and Social Policy*. 2020. Vol. 40. No. 9/10. P. 861–875. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-07-2020-0323>
18. Andrade R.O., Cazares M., Fuertes W. Cybersecurity attacks during COVID-19: an analysis of the behavior of the human factors and a proposal of hardening strategies // *Advances in Cybersecurity Management*. 2021. P. 37–53.
19. De R., Pandey N., Pal A. Impact of digital surge during Covid-19 pandemic: A viewpoint on research and practice // *International journal of information management*. 2020. Vol. 55. 102171. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102171>
20. Wong M.Y.Z., Gunasekeran D.V., Nusinovici S., Sabanayagam C., Yeo K.K., Cheng C., Tham Y. Telehealth demand trends during the COVID-19 pandemic in the top 50 most affected countries: Infodemiological evaluation // *JMIR Public Health & Surveillance*. 2021. Vol. 7. No. 2. e24445. <https://doi.org/10.2196/24445>
21. Wosik J., Fudim M., Cameron B., et al. Telehealth transformation: COVID-19 and the rise of virtual care // *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2020. Vol. 27. No. 6. P. 957–962. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocaa067>
22. Singh S., Kumar R., Panchal R., Tiwari M.K. Impact of COVID-19 on logistics systems and disruptions in food supply chain // *International Journal of Production Research*. 2021. Vol. 59. No. 7. P. 1993–2008. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1792000>
23. Soto-Acosta P. COVID-19 pandemic: Shifting digital transformation to a high-speed gear // *Information Systems Management*. 2020. Vol. 37. No. 4. P. 260–266. <https://doi.org/10.1080/10580530.2020.1814461>
24. Ozkan O., Atli O. Transporting COVID-19 testing specimens by routing unmanned aerial vehicles with range and payload constraints: the case of Istanbul // *Transportation Letters*. 2021. Vol. 13. Nos. 5-6. P. 482–491. <https://doi.org/10.1080/19427867.2021.1896063>

25. Gokhberg L., Kuzminov I., Bakhtin P., Timofeev A., Khabirova E. Emerging technologies identification in foresight and strategic planning: Case of agriculture and food sector // *Emerging Technologies for Economic Development*. 2019. P. 205–223. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04370-4_9
26. Covid-19 innovative response tracker. The OECD Observatory of Public Sector Innovation. [Электронный ресурс]: <https://oecd-opsi.org/covid-response/> (дата обращения 25.06.2022).
27. Saritas O., Bakhtin P., Kuzminov I., Khabirova E. Big data augmented business trend identification: the case of mobile commerce // *Scientometrics*. 2021. Vol. 126. No. 2. P. 1553–1579. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03807-9>
28. Gokhberg L., Kuzminov I., Khabirova E., Thurner T. Advanced text-mining for trend analysis of Russia's extractive industries // *Futures*. 2020. Vol. 115. 102476. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2019.102476>
29. Calof J., Meissner D., Vishnevskiy K. Corporate foresight for strategic innovation management: the case of a Russian service company // *Foresight*. 2020. Vol. 22. No. 1. P. 14–36. <https://doi.org/10.1108/FS-02-2019-0011>
30. Koonin L.M., Hoots B., Tsang C.A., et al. Trends in the use of telehealth during the emergence of the COVID-19 pandemic – United States, January–March 2020 // *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2020. Vol. 69. No. 43. P. 1595–1599. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6943a3>
31. Hirko K.A., Kerver J.M., Ford S., Szafranski C., Beckett J., Kitchen C., Wendling A.L. Telehealth in response to the COVID-19 pandemic: Implications for rural health disparities // *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2020. Vol. 27. No. 11. P. 1816–1818. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocaa156>
32. Madigan S., Racine N., Cooke J.E., Korczak D.J. COVID-19 and telemental health: Benefits, challenges, and future directions // *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*. 2021. Vol. 62. No. 1. P. 5–11. <https://doi.org/10.1037/cap0000259>
33. Hasanat M.W., Hoque A., Shikha F.A., Anwar M., Hamid A.B.A., Tat H.H. The impact of coronavirus (COVID-19) on e-business in Malaysia // *Asian Journal of Multidisciplinary Studies*. 2020. Vol. 3. No. 1. P. 85–90. <https://www.asianjournal.org/online/index.php/ajms/article/view/219/100>
34. Nhamo G., Dube K., Chikodzi D. Implications of COVID-19 on gaming, leisure and entertainment industry // *Counting the cost of COVID-19 on the global tourism industry*. 2020. P. 273–295. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56231-1_12
35. Didenko A.N., Zetzsche D.A., Arner D.W., Buckley R.P. After Libra, digital yuan and COVID-19: Central Bank digital currencies and the new world of money and payment systems // *European Banking Institute Working Paper Series 65/2020*, University of Hong Kong Faculty of Law Research Paper No. 2020/036, UNSW Law Research Paper No. 20–59. <https://doi.org/10.2139/ssrn.36223112020>.
36. Tan L., Xue L. Research on the development of digital currencies under the COVID-19 epidemic // *Procedia Computer Science*. 2021. Vol. 187. P. 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.04.037>

Об авторах

Щербakov Роман Андреевич

стажер-исследователь Лаборатории исследований науки и технологий Института статистических исследований и экономики знаний, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

E-mail: rashcherbakov@hse.ru

ORCID: 0000-0002-5054-3869

Приворотская Софья Григорьевна

кандидат экономических наук;

заведующий отделом исследований цифровых технологий Института статистических исследований и экономики знаний, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

E-mail: sprivorotskaya@hse.ru

ORCID: 0000-0002-4552-4938

Вишневский Константин Олегович

кандидат экономических наук;

директор центра исследований цифровой экономики Института статистических исследований и экономики знаний, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

старший научный сотрудник Лаборатории исследований науки и технологий Института статистических исследований и экономики знаний, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20;

E-mail: kvishnevsky@hse.ru

ORCID: 0000-0003-3621-0504

Diffusion of digital technologies in the face of external shocks: The case of the COVID-19 pandemic

Roman A. Shcherbakov

Email: rashcherbakov@hse.ru

Sofya G. Privorotskaya

E-mail: sprivorotskaya@hse.ru

Konstantin O. Vishnevskiy

E-mail: kvishnevsky@hse.ru

HSE University

Address: 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia

Abstract

This paper investigates the impact of external shocks on the spread of digital technologies. Using the example of the COVID-19 pandemic, we identify and describe four patterns that reflect the uneven response of different digital technologies to external conditions undergoing transformation. The patterns differ in both the magnitude of the pandemic's impact and the timing of the resulting effects. Video conferencing, business continuity and telemedicine services showed a dramatic increase in demand at the beginning of COVID-19 and a gradual decline in the later stages. A more moderate response in the early weeks of the pandemic is typical of e-commerce and online entertainment. Delayed effects are seen in digital logistics services and digital currencies, which reacted much later than other technologies. Finally, a slow decline in significance after the pandemic began has been observed for biometrics and cybersecurity technologies. Similar patterns may describe the transformation of the spread of digital technologies not only under the influence of COVID-19, but also in the face of dramatic economic and social changes of other origins.

Keywords: digital transformation, digital technology, digital diffusion, economic shock, market adaptation, COVID-19

Citation: Shcherbakov R.A., Privorotskaya S.G., Vishnevskiy K.O. (2023) Diffusion of digital technologies in the face of external shocks: The case of the COVID-19 pandemic. *Business Informatics*, vol. 17, no. 1, pp. 37–52.

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.37.52

References

1. Sokhulu L.H. (2021) Students' experiences of using digital technologies to address their personal research needs during the COVID-19 lockdown. *African Identities*, vol. 19, no. 4, pp. 436–452. <https://doi.org/10.1080/14725843.2020.1801384>
2. Beardsley M., Albó L., Aragón P., Hernández-Leo D. (2021) Emergency education effects on teacher abilities and motivation to use digital technologies. *British Journal of Educational Technology*, vol. 52, no. 4, pp. 1455–1477. <https://doi.org/10.1111/bjet.13101>

3. Bokolo A.J. (2020) Use of telemedicine and virtual care for remote treatment in response to COVID-19 pandemic. *Journal of Medical Systems*, vol. 44, no. 7, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10916-020-01596-5>
4. Papadopoulos T., Baltas K.N., Balta M.E. (2020) The use of digital technologies by small and medium enterprises during COVID-19: Implications for theory and practice. *International Journal of Information Management*, vol. 55, 102192. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102192>
5. Oldekop J.A., Horner R., Hulme D., et al. (2020) COVID-19 and the case for global development. *World Development*, vol. 134, 105044. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105044>
6. Caselli F., Coleman W.J. (2001) Cross-country technology diffusion: The case of computers. *American Economic Review*, vol. 91, no. 2, pp. 328–335. <https://doi.org/10.1257/aer.91.2.328>
7. Geroski P.A. (2000) Models of technology diffusion. *Research Policy*, vol. 29, nos. 4–5, pp. 603–625. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00092-X](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00092-X)
8. Mayer J. (2001) Technology diffusion, human capital and economic growth in developing countries. *United Nations Conference on Trade and Development Discussion Papers*, UNCTAD Discussion Papers 154. https://unctad.org/en/docs/dp_154.en.pdf
9. Lin H.F., Lin S.M. (2008) Determinants of e-business diffusion: A test of the technology diffusion perspective. *Technovation*, vol. 28, no. 3, pp. 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2007.10.003>
10. Vishnevskiy K., Gokhberg L., Dementiev V., et al. (2021) *Digital technologies in the Russian economy* (ed. L. Gokhberg). Moscow, HSE (in Russian). <https://doi.org/10.17323/978-5-7598-2199-1>
11. Nicoletti G., von Rueden C., Andrews D. (2020) Digital technology diffusion: A matter of capabilities, incentives or both? *European Economic Review*, vol. 128, 103513. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2020.103513>
12. Rao K.U., Kishore V.V.N. (2010) A review of technology diffusion models with special reference to renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 3, pp. 1070–1078. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.007>
13. Geroski P.A. (2000) Models of technology diffusion. *Research policy*, vol. 29, nos. 4–5, pp. 603–625. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00092-X](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00092-X)
14. Christensen C.M. (1992) Exploring the limits of the technology S-curve. Part I: Component technologies. *Production and Operations Management*, vol. 1, no. 4, pp. 334–357. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.1992.tb00001.x>
15. Shampine A. (1998) Compensating for information externalities in technology diffusion models. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 80, no. 2, pp. 337–346. <https://doi.org/10.2307/1244506>
16. Mittal S., Mehar M. (2016) Socio-economic factors affecting adoption of modern information and communication technology by farmers in India: Analysis using multivariate probit model. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, vol. 22, no. 2, pp. 199–212. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2014.997255>
17. Nagel L. (2020) The influence of the COVID-19 pandemic on the digital transformation of work. *International Journal of Sociology and Social Policy*, vol. 40, no. 9/10, pp. 861–875. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-07-2020-0323>
18. Andrade R.O., Cazares M., Fuertes W. (2021) Cybersecurity attacks during COVID-19: an analysis of the behavior of the human factors and a proposal of hardening strategies. *Advances in Cybersecurity Management*, pp. 37–53. Springer, Cham.
19. De R., Pandey N., Pal A. (2020) Impact of digital surge during Covid-19 pandemic: A viewpoint on research and practice. *International Journal of Information Management*, vol. 55, 102171. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102171>
20. Wong M.Y.Z., Gunasekeran D.V., Nusinovic S., Sabanayagam C., Yeo K.K., Cheng C., Tham Y. (2021) Telehealth demand trends during the COVID-19 pandemic in the top 50 most affected countries: Infodemiological evaluation. *JMIR Public Health & Surveillance*, vol. 7, no. 2, e24445. <https://doi.org/10.2196/24445>
21. Wosik J., Fudim M., Cameron B., et al. (2020) Telehealth transformation: COVID-19 and the rise of virtual care. *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 27, no. 6, pp. 957–962. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocaa067>
22. Singh S., Kumar R., Panchal R., Tiwari M.K. (2021) Impact of COVID-19 on logistics systems and disruptions in food supply chain. *International Journal of Production Research*, vol. 59, no. 7, pp. 1993–2008. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1792000>
23. Soto-Acosta P. (2020) COVID-19 pandemic: Shifting digital transformation to a high-speed gear. *Information Systems Management*, vol. 37, no. 4, pp. 260–266. <https://doi.org/10.1080/10580530.2020.1814461>
24. Ozkan O., Atli O. (2021) Transporting COVID-19 testing specimens by routing unmanned aerial vehicles with range and payload constraints: the case of Istanbul. *Transportation Letters*, vol. 13, nos. 5–6, pp. 482–491. <https://doi.org/10.1080/19427867.2021.1896063>
25. Gokhberg L., Kuzminov I., Bakhtin P., Timofeev A., Khabirova E. (2019) Emerging technologies identification in foresight and strategic planning: Case of agriculture and food sector. In: Meissner, D., Gokhberg, L., Saritas, O. (eds) *Emerging Technologies for Economic Development. Science, Technology and Innovation Studies*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04370-4_9

26. *Covid-19 innovative response tracker*. The OECD Observatory of Public Sector Innovation. Available at: <https://oecd-opsi.org/covid-response/> (accessed 25 June 2022).
27. Saritas O., Bakhtin P., Kuzminov I., Khabirova E. (2021) Big data augmented business trend identification: the case of mobile commerce. *Scientometrics*, vol. 126, no. 2, pp. 1553–1579. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03807-9>
28. Gokhberg L., Kuzminov I., Khabirova E., Thurner T. (2020) Advanced text-mining for trend analysis of Russia's extractive industries. *Futures*, vol. 115, 102476. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2019.102476>
29. Calof J., Meissner D., Vishnevskiy K. (2020) Corporate foresight for strategic innovation management: the case of a Russian service company. *Foresight*, vol. 22, no. 1, pp. 14–36. <https://doi.org/10.1108/FS-02-2019-0011>
30. Koonin L.M., Hoots B., Tsang C.A., et al. (2020) Trends in the use of telehealth during the emergence of the COVID-19 pandemic – United States, January–March 2020. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, vol. 69, no. 43, pp. 1595–1599. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6943a3>
31. Hirko K.A., Kerver J.M., Ford S., Szafranski C., Beckett J., Kitchen C., Wendling A.L. (2020) Telehealth in response to the COVID-19 pandemic: Implications for rural health disparities. *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 27, no. 11, pp. 1816–1818. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocaa156>
32. Madigan S., Racine N., Cooke J.E., Korczak D.J. (2021) COVID-19 and telemental health: Benefits, challenges, and future directions. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, vol. 62, no. 1, pp. 5–11. <https://doi.org/10.1037/cap0000259>
33. Hasanat M.W., Hoque A., Shikha F.A., Anwar M., Hamid A.B.A., Tat H.H. (2020) The impact of coronavirus (COVID-19) on e-business in Malaysia. *Asian Journal of Multidisciplinary Studies*, vol. 3, no. 1, pp. 85–90. <https://www.asianjournal.org/online/index.php/ajms/article/view/219/100>
34. Nhamo G., Dube K., Chikodzi D. (2020) Implications of COVID-19 on gaming, leisure and entertainment industry. *Counting the cost of COVID-19 on the global tourism industry*, pp. 273–295. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56231-1_12
35. Didenko A.N., Zetzsche D.A., Arner D.W., Buckley R.P. (2020) After Libra, digital yuan and COVID-19: Central Bank digital currencies and the new world of money and payment systems. *European Banking Institute Working Paper Series 65/2020, University of Hong Kong Faculty of Law Research Paper No. 2020/036, UNSW Law Research Paper No. 20–59*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3622311>
36. Tan L., Xue L. (2021) Research on the development of digital currencies under the COVID-19 epidemic. *Procedia Computer Science*, no. 187, pp. 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.04.037>

About the authors

Roman A. Shcherbakov

Research Assistant, Laboratory for Science and Technology Studies, Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge, HSE University, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

E-mail: rashcherbakov@hse.ru

ORCID: 0000-0002-5054-3869

Sofya G. Privorotskaya

Cand. Sci. (Econ.);

Head of the Digital Technologies Research Unit, Digital Economics Centre, Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge, HSE University, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

E-mail: sprivorotskaya@hse.ru

ORCID: 0000-0002-4552-4938

Konstantin O. Vishnevskiy

Cand. Sci. (Econ.);

Director of Digital Economics Centre, Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge, HSE University, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

Senior Research Fellow, Laboratory for Science and Technology Studies, Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge, HSE University, 20, Myasnitskaya Street, Moscow 101000, Russia;

E-mail: kvishnevsky@hse.ru

ORCID: 0000-0003-3621-0504

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.53.65

Энтропийный подход к анализу бухгалтерских балансов банков

В.В. Матохин^a 

E-mail: vmatokhin@tekora.ru

А.В. Сигал^b 

E-mail: ksavo3@cfuv.ru

^a Акционерное общество «ТЕКОРА»

Адрес: Россия, 117393, Москва, ул. Профсоюзная, д. 56, эт. 15, оф. 19-23

^b Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

Адрес: Россия, 295007, Симферополь, пр. Академика Вернадского, д. 4

Аннотация

Ведение бухгалтерского учета обеспечивает сбор и систематизацию документированной информации о фактах хозяйственной жизни предприятий и организаций. Собираемая информация систематизируется и оформляется в виде различных форм отчетности. Одной из ключевых форм отчетности является форма бухгалтерского баланса. В основу бухгалтерского баланса положен принцип двойной записи, согласно которому каждое изменение финансовых средств организации отражается как минимум на двух бухгалтерских счетах, имеющих отношение к соответствующей группе статей активов и пассивов. Таким образом реализуется условие баланса объемов обобщенных стоимостей активов и пассивов. Контрольным элементом бухгалтерского баланса считается равенство стоимостей активов и пассивов. Однако данный контрольный элемент не позволяет выявить системное различие (разнообразие) бухгалтерских балансов при равенстве распределенных финансовых средств. А именно, условие равенства носит интегральный характер и его выполнение не связано с конкретным характером постатейных распределений, поскольку при заданных размерах общей стоимости бухгалтерского баланса условие может быть выполнено различными вариантами распределений финансовых средств по статьям активов и пассивов. Поэтому в рамках данной статьи предпринята попытка введения нового контрольного элемента бухгалтерского баланса, учитывающего неравномерность распределения финансовых средств по статьям активов и пассивов кредитно-финансовых организаций.

Ключевые слова: моделирование, энтропия, бухгалтерский баланс, активы, пассивы**Цитирование:** Матохин В.В., Сигал А.В. Энтропийный подход к анализу бухгалтерских балансов банков // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. № 1. С. 53–65. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.53.65

Введение

В практике управления кредитно-финансовыми организациями известна проблема «смертности» банков. По данным Центрального банка Российской Федерации за период с 2001 года по 2022 год число действующих банков сократилось более чем на 70 % (рис. 1).

По мере сокращения числа активных игроков в банковском секторе экономики все более актуальной задачей становится выявление негативных изменений состояния каждого конкретного банка.

Чтобы конструктивно и предметно решать данную задачу, будем рассматривать банк как управляемую систему, а систему расходов финансовых средств на обеспечение жизнедеятельности банка как управляющую (рис. 2).

В основу подхода к совокупности расходов как к управляющей системе положен тот простой факт, что каждый расход имеет двойную природу влияния на состояние банка. С одной стороны, каждый расход отражает потребность банка в конкретном экономическом ресурсе. С другой стороны, каждый расход вносит изменение в состояние управляющей системы как единого целого, поскольку изменяет значения долей расходов по различным статьям. Данное свойство совокупности расходов позволяет управлять состоянием банка как единой экономической системой. В теории и практике управления сложными системами (см., например, [1–3]) широко используются такие фундаментальные понятия как энтропия и разнообразие вариантов состояний управляющих систем [4]. Именно

но разнообразие состояний управляющей системы дает возможность адекватно реагировать на изменения состояния управляемой системы. Однако, в теории и особенно в практике анализа бухгалтерского баланса использование свойства разнообразия совокупности расходов ограничивается отсутствием соответствующих методологических подходов. В этой связи использование энтропии в качестве меры разнообразия бухгалтерского баланса и ее применение при моделировании процессов принятия решений в экономике (см., например, [5–14]) позволяют исследовать самые разнообразные аспекты и особенности состояния управляющей системы.

Целью исследования является обоснование возможности применения энтропийного подхода к оценке разнообразия активов и пассивов бухгалтерского баланса, что может позволить выявить наличие дисбаланса в состоянии банка.

1. Разнообразие состояний и энтропия управляющей системы

Чтобы перейти от «разнообразия» как понятия к «разнообразию» как параметру состояния управляющей системы банка, рассмотрим в качестве первого приближения количество вариантов управленческих решений о постатейных расходах финансовых средств. С этой целью представим совокупность расходов в виде табличной формы (табл. 1), в левой части которой приведен перечень статей расходов $\mathbf{N} = (n_1; n_2; \dots; n_N)$, а в правой – соответствующие объемы расходов финансовых средств $\mathbf{G} = (G_1; G_2; \dots; G_N)$.

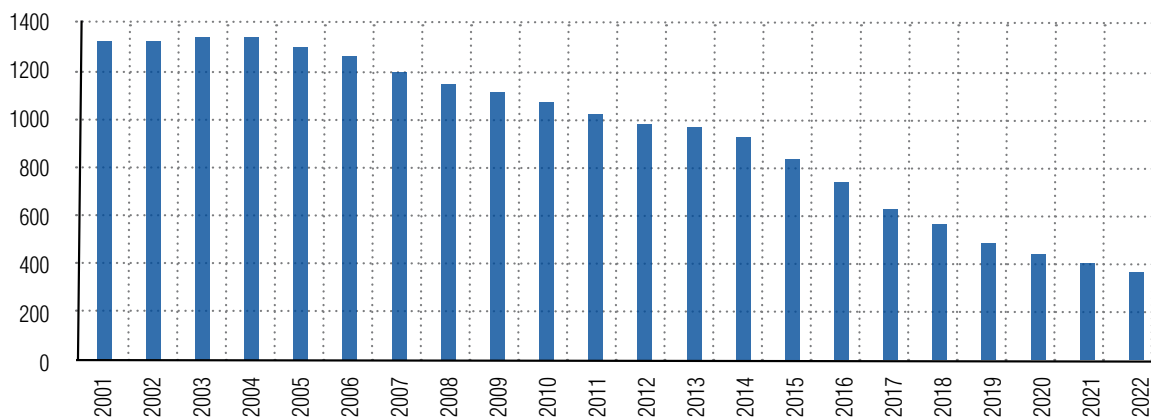


Рис. 1. Число действующих банков.

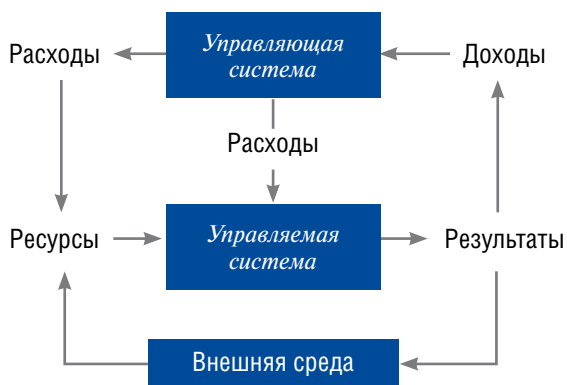


Рис. 2. Схема разделения системы управления на две части: управляемая и управляющая.

Таблица 1.

Табличная форма представления состояния управляющей системы

Статья расходов	Объем средств
n_1	G_1
n_2	G_2
...	...
n_N	G_N

Табличная форма (табл. 1) позволяет ввести параметр разнообразия состояния управляющей системы как число вариантов W , которыми может быть реализовано состояние с фиксированными значениями числа (количества) статей N и суммы средств S_N .

Поясним сказанное на простом примере. Пусть ряд объемов распределяемых средств представляет собой вектор $\mathbf{G} = (5, 20, 75)$. Тогда, меняя порядок

сопоставления элементов числового ряда \mathbf{G} и перечня статей \mathbf{N} , получаем, что $W=6$, так как для $N=3$ число вариантов равно числу перестановок: $W=N!=3!=1 \cdot 2 \cdot 3=6$ (табл. 2).

Далее несложно установить, что любое совпадение значений в ряду $\mathbf{G} = (G_1, G_2, \dots, G_N)$ снижает значение параметра W . В пределе при равенстве значений всех компонент вектора \mathbf{G} друг другу ($G_1 = G_2 = G_3 = \dots = G_N$) все варианты состояния управляющей системы идентичны друг другу, поскольку перестановка статей в данном случае уже не играет никакой роли. Данная особенность параметра W указывает на важность изучения именно неравномерности распределения значений расходов. То есть целесообразно использовать системный параметр, который позволил бы различать числовые ряды (вектора) \mathbf{G} по характеру распределения значений их компонент. По сути, это позволит ответить на вопрос, в чем различие числовых рядов с равными значениями параметров N и S_N . Таким системным параметром могла бы послужить энтропия произвольных числовых рядов, которая может быть применена для количественной оценки разнообразия (различимости) состояний управляющей системы. Например, в чем заключается системное различие конкретных числовых рядов (векторов) $\mathbf{G}' = (3, 7, 10, 20, 60)$ и $\mathbf{G}'' = (5, 10, 15, 20, 50)$, соответствующих различным состояниям управляющей системы? Для этого сначала представим координаты векторов в виде кусочно-линейных графиков, построенных с использованием модифицированной методики построения диаграмм Лоренца. Затем, аппроксимируя диаграмму Лоренца специальной однопараметрической функцией, определим параметр неравномерности распределения α (альфа) и рассчитаем энтропию как меру разнообразия состояния управляющей системы.

Таблица 2.

Разнообразие вариантов управленческих решений

Объем средств		Вариант «1-2-3»	Вариант «1-3-2»	Вариант «2-1-3»	Вариант «2-3-1»	Вариант «3-1-2»	Вариант «3-2-1»
$G_1 = 5$	⇔	n_1	n_1	n_2	n_2	n_3	n_3
$G_2 = 20$	⇔	n_2	n_3	n_1	n_3	n_1	n_2
$G_3 = 75$	⇔	n_3	n_2	n_3	n_1	n_2	n_1

2. Диаграмма Лоренца произвольных числовых рядов

В экономике хорошо известен метод визуального представления неравномерности распределения доходов по группам населения в виде кусочно-линейного графика [15]. Применим упрощенный метод построения диаграммы Лоренца для произвольного числового ряда. Пусть, например, исходный числовой ряд (вектор) имеет пять элементов (компонент) $\mathbf{G}' = (3, 7, 10, 20, 60)$ и $\mathbf{G}'' = (5, 10, 15, 20, 50)$. Рассчитаем ряд накопленных частичных сумм $\{S_n\}$ по следующим формулам:

$$\begin{aligned} S_1 &= G_1, \quad S_2 = G_1 + G_2 = S_1 + G_2, \dots, \\ S_n &= G_1 + G_2 + \dots + G_n = S_{n-1} + G_n, \dots, \\ S_N &= G_1 + G_2 + \dots + G_N = S_{N-1} + G_N. \end{aligned} \quad (1)$$

Получаем следующие новые ряды (векторы) $\mathbf{S}' = (3; 10; 20; 40; 100)$ и $\mathbf{S}'' = (5; 15; 30; 50; 100)$. Далее каждую из накопленных сумм S_n делим на сумму всех чисел исходного ряда: $S_N = 100$. В результате получаем ряды чисел (вектор) $\mathbf{Y}' = (0,03; 0,1; 0,2; 0,4; 1)$ и $\mathbf{Y}'' = (0,05; 0,15; 0,3; 0,5; 1)$, являющихся значениями Y_n оси ординат диаграммы Лоренца. Значения координат по оси абсцисс рассчитаем по формуле: $X_n = n/N$, где n — номер по порядку для рассматриваемого примера и $N = 5$, то есть $\mathbf{X} = (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1)$. И, наконец, отметим на координатной плоскости X – Y точки с координатами $(X_n; Y_n)$ внутри квадрата со сторонами, равными единице. В результате получаем диаграммы Лоренца в виде кусочно-линейных графиков (рис. 3), которые дают возможность визуально различить $\mathbf{Y}' = (0,03; 0,1; 0,2; 0,4; 1)$ и $\mathbf{Y}'' = (0,05; 0,15; 0,3; 0,5; 1)$.

Очевидно, что диаграммы Лоренца позволяют визуально представить неравномерность распределения значений элементов любых числовых рядов, отличающихся по числу N элементов и общей сумме S_N чисел. Кроме того, данный подход позиционирует любое конкретное распределение между двумя крайними вариантами (рис. 3): равномерным («А» — все числа равны друг другу) и предельно неравномерным («М» — одно число существенно больше остальных). Для наглядности на рис. 3 приведены две диаграммы Лоренца, построенные для $\mathbf{G}_A = (20, 20, 20, 20)$ и $\mathbf{G}_M = (1, 2, 3, 9, 85)$.

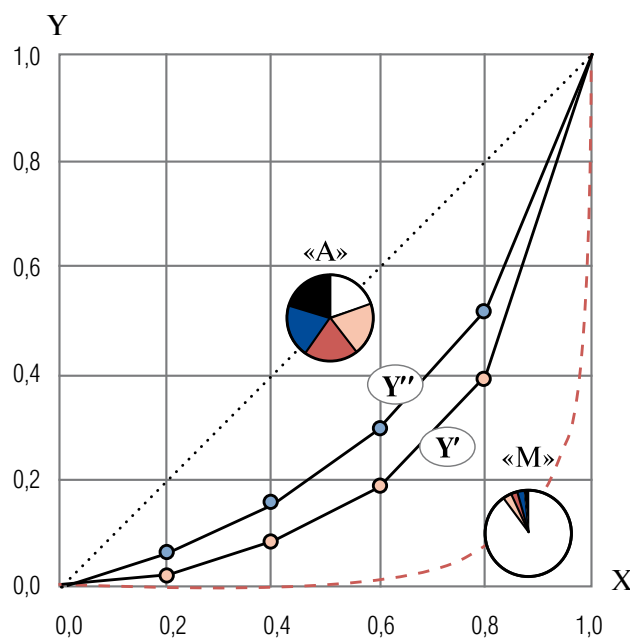


Рис. 3. Диаграммы Лоренца.

Используя аппроксимацию диаграмм Лоренца семейством однопараметрических функций $L(x, \alpha)$ в виде

$$L(x, \alpha) = 1 - \sqrt[\alpha]{1 - x^\alpha}, \quad (2)$$

введем параметр α как меру неравномерности распределения значений конкретного числового ряда (рис. 4) [16, 17].

3. Энтропия числового ряда

В неравновесной статистической механике знание статистической плотности ρ распределения обеспечивает полное знание состояния системы [18]. Введенная однопараметрическая функция (2) для аппроксимации диаграмм Лоренца позволяет получить выражение для статистической функции распределения вероятности (плотности вероятности) в следующем виде [16]:

$$\rho(g, \alpha) = \frac{1}{\alpha - 1} \frac{g^{\frac{2-\alpha}{\alpha-1}}}{\left(1 + g^{\frac{\alpha}{\alpha-1}}\right)^{\frac{\alpha+1}{\alpha}}}, \quad (3)$$

где g — значение расхода G , нормированного (деленного) на величину среднего расхода S_N/N .

И, наконец, полученная однопараметрическая плотность распределения вероятности (3) позво-

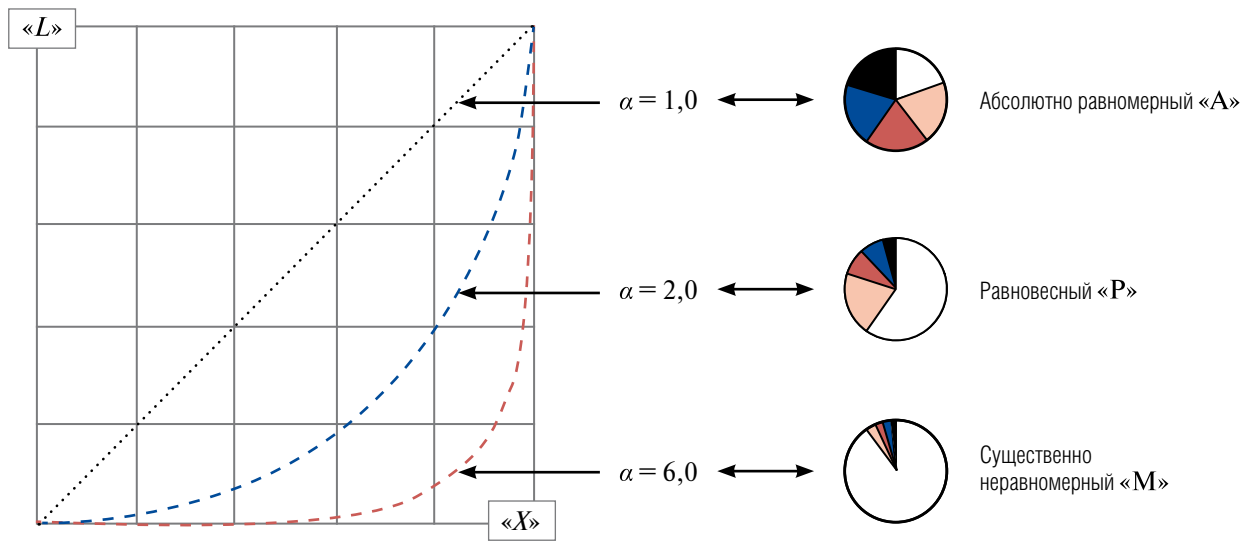


Рис. 4. Семейство аппроксимирующих функций $L(x, \alpha)$.

ляет рассчитать энтропию $V(\alpha)$ для произвольного числового ряда (вектора) \mathbf{G} [19–21]:

$$V(\alpha) = - \int_0^{\infty} \rho(g, \alpha) \cdot \ln[\rho(g, \alpha)] dg. \quad (4)$$

На рисунке 5 представлен график нормированной на максимальное значение энтропии $V(\alpha)$, полученный методом численного интегрирования формулы (4) [20]. На графике приведены значения энтропии для числовых рядов, использованных в статье: \mathbf{G}_A ,

\mathbf{G}_M , $\mathbf{G}' = (3, 7, 10, 20, 60)$, $\mathbf{G}'' = (5, 10, 15, 20, 50)$, $\mathbf{G}_A = (20, 20, 20, 20, 20)$ и $\mathbf{G}_M = (1, 2, 3, 9, 85)$.

В целях придания количественных свойств описанию нашего подхода достаточно продуктивным стало использование унимодальной аналитической функции $V(\alpha)$, аппроксимирующей график энтропии числового ряда [22]:

$$V(\alpha) = \alpha^{-\sqrt{2}} \cdot \ln \alpha. \quad (5)$$

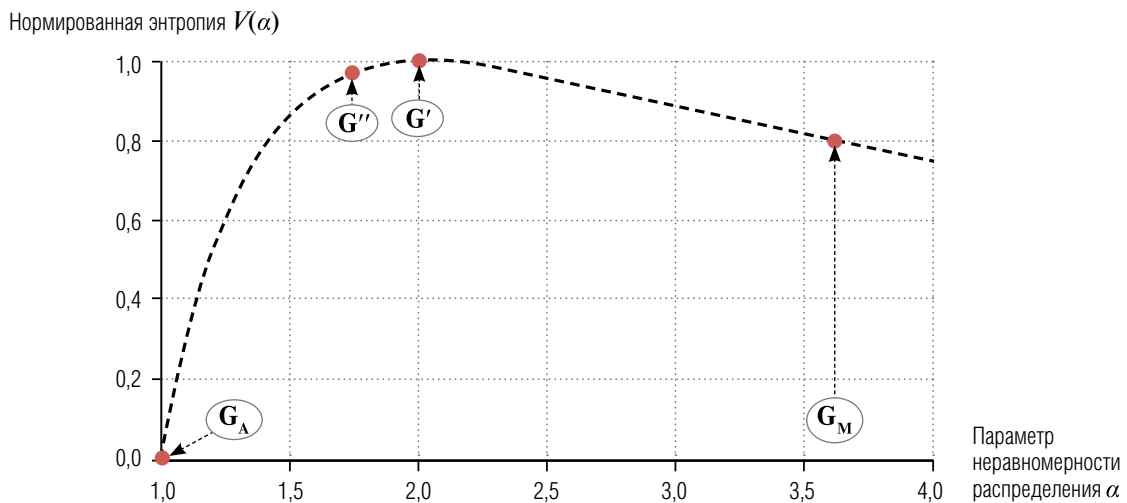


Рис. 5. Энтропия числового ряда с различным параметром α неравномерности распределения.

В результате, имея функцию $V(\alpha)$, стало возможным на основе физической энтропии (4) количественно сформулировать энтропийный подход к анализу бухгалтерских балансов банков.

4. Энтропийный подход к анализу бухгалтерского баланса

Применим энтропийный подход к анализу бюджетов различных уровней [22] для анализа равновесия постатейных распределений активов и пассивов бухгалтерского баланса банков.

Как понятие «бухгалтерский баланс» существует уже почти шестьсот лет. В основу бухгалтерского баланса итальянский математик, монах-францисканец Лука Бартоломео де Пачоли в своей работе [23], опубликованной в 1494 году, заложил принцип двойной записи, согласно которому каждое изменение средств организации отражается, по крайней мере, на двух бухгалтерских счетах, имеющих отношение к соответствующей группе статей активов и пассивов.

В настоящее время бухгалтерский баланс является общепринятым финансовым отчетом. Контрольным элементом бухгалтерского баланса считается равенство стоимости активов и пассивов. Однако условие равенства стоимости активов и пассивов может быть выполнено различными вариантами постатейного распределения финансовых средств. Но именно постатейные распределения финансовых средств являются важнейшими управленческими решениями, которые оказывают влияние на состояние и деятельность предприятий и организаций. В этой связи нужен контрольный элемент, непосредственно связанный с распределением финансовых средств.

Поставленную задачу авторы попытались решить, ориентируясь на продуктивность использования физических метафор и понятий при анализе неравновесных состояний макроэкономических систем [24, 25]. Удобной метафорой, поясняющей суть энтропийного подхода к раздельной оценке энтропии активов и энтропии пассивов, является сравнение кредитно-финансовой организации с контролируемым участком реки. С той лишь разницей, что вместо водного потока через контролируемый участок реки мы бу-

дем рассматривать поток энтропии через кредитно-финансовую организацию. При этом систему управления потоком энтропии через организацию образно представим в виде «шлюза», в котором входящий поток энтропии (V_A) определяется постатейным распределением активов (α_A), а исходящий (V_L) – постатейным распределением пассивов (α_L). В результате, корректируя распределения активов и пассивов и рассчитывая по формуле (5) соответствующие значения энтропии (V_A) и (V_L), реализуем управление потоком энтропии. Управление потоком энтропии позволяет избегать в управляющей системе нежелательных энтропийных «наводнений» ($\Delta V = V_A - V_L > 0$) и «обезвоживаний» ($\Delta V = V_A - V_L < 0$). Таким образом, условие нулевого равенства потока энтропии $\Delta V = 0$ выполняет роль контрольного элемента бухгалтерского баланса, характеризующего равновесие («Р») постатейных распределений активов и пассивов бухгалтерского баланса.

По нашему мнению, условие равенства потоков энтропий носит интегральный характер и его выполнение связано с конкретным характером постатейных распределений, поскольку при заданных размерах общей стоимости бухгалтерского баланса условие может быть выполнено различными вариантами распределений финансовых средств по статьям активов и пассивов.

На рисунках 6–11 приведены характерные графики временных зависимостей энтропии активов (V_A) и энтропии пассивов (V_L), рассчитанных авторами на основании данных по бухгалтерским балансам¹:

- ◆ банков, имеющих лицензию (рис. 6, 7);
- ◆ санируемых банков (рис. 8, 9);
- ◆ банков, у которых лицензия отозвана (рис. 10, 11).

5. Дисперсии временных зависимостей энтропий

Важным выводом визуального сравнения временных графиков энтропии активов и энтропии пассивов бухгалтерских балансов является очевидное наличие (рис. 6, 7) или нарушение (рис. 8–11) синхронного поведения временных зависимостей энтропии активов (V_A) и энтропии пассивов (V_L). Данный факт указывает на целесообразность использования оценки дисперсии (во-

¹ См.: Портал банковского аналитика «Анализ банков» (<https://analizbankov.ru/index.php>).

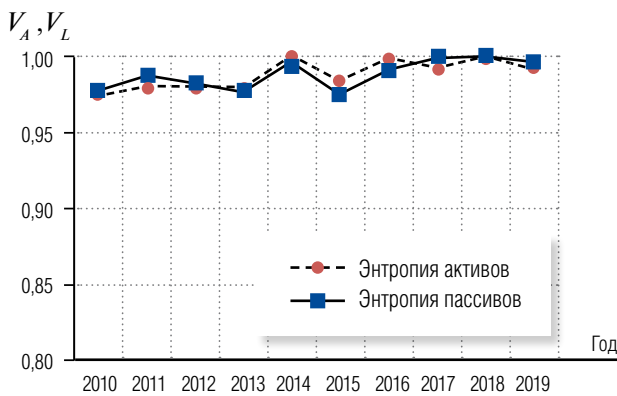


Рис. 6. Энтропия активов (V_A) и энтропия пассивов (V_L) банка ВТБ.

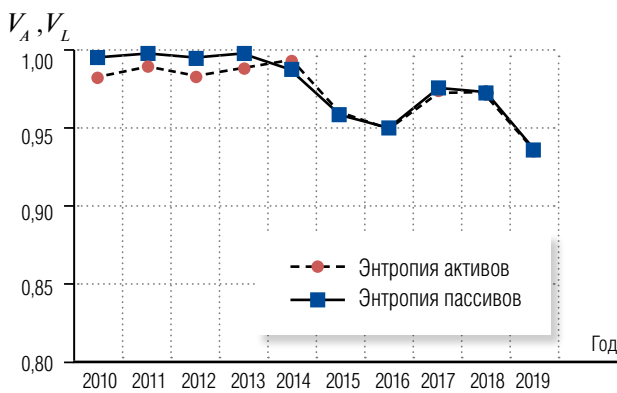
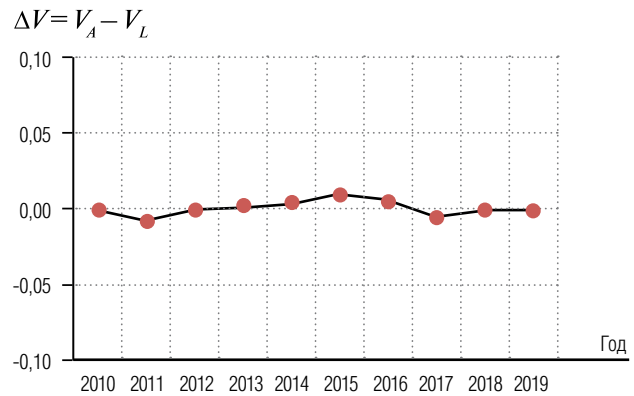
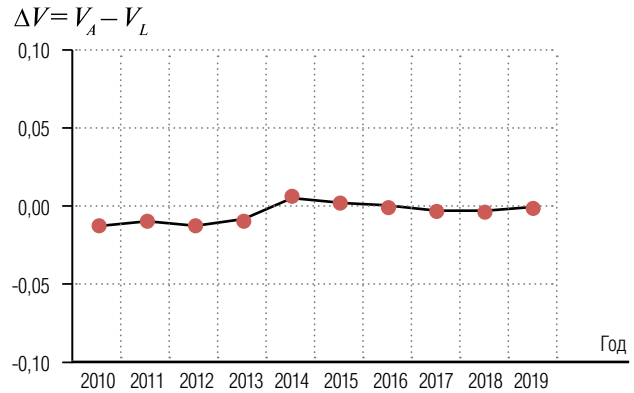


Рис. 7. Энтропия активов (V_A) и энтропия пассивов (V_L) банка Сбербанк России.



латильности) временных рядов значений разности энтропий активов и пассивов ($\Delta V = V_A - V_L$) как меры разброса реальных значений относительно среднего значения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (\Delta V_t - \overline{\Delta V})^2}{T}}$$

где $T=10$ – количество наблюдений.

Результаты расчета дисперсий временных зависимостей энтропии активов (σ_A), пассивов (σ_L) и разности энтропий ($\sigma_{\Delta V}$) на интервале 2010–2019 гг. приведены в таблице 3 для трех условных групп банков: крупных, средних и относительно небольших.

Построчное сопоставление дисперсий разности энтропий ($\sigma_{\Delta V}$) и статусов банковской лицензии дает основание утверждать, что действующие

банки, как правило, имеют более низкие значения параметра $\sigma_{\Delta V}$, чем те, у которых отозвана лицензия.

Данное утверждение не является строгим в количественном смысле. То есть, параметр $\sigma_{\Delta V}$ не является четким критерием, позволяющим однозначно отнести любой банк к той или иной группе. Так, например, дисперсия разности энтропий активов и пассивов санитруемого банка «Уралсиб» ($\sigma_{\Delta V} = 4,55$) выше, чем у банка «ТЭМБР-БАНК» ($\sigma_{\Delta V} = 3,18$). Однако, лицензия у банка «Уралсиб» не отозвана. Возможно, что разрешение на право ведения деятельности выдается кредитной организации с учетом многих факторов, включая, например, размер банка. Тем не менее, дисперсия разности энтропий ($\sigma_{\Delta V}$) может быть использована в качестве интегрального индикатора проблем в деятельности конкретных банков. Вероятно, на следующем

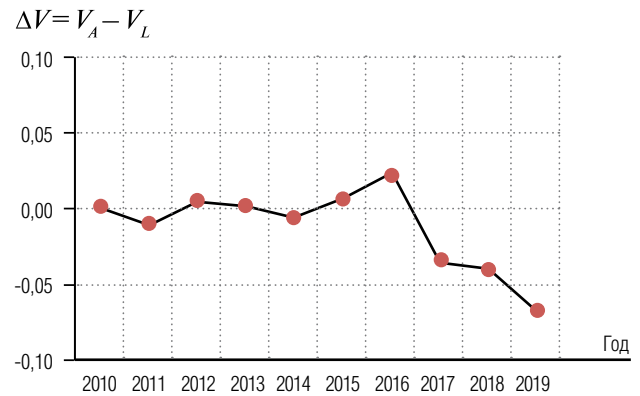
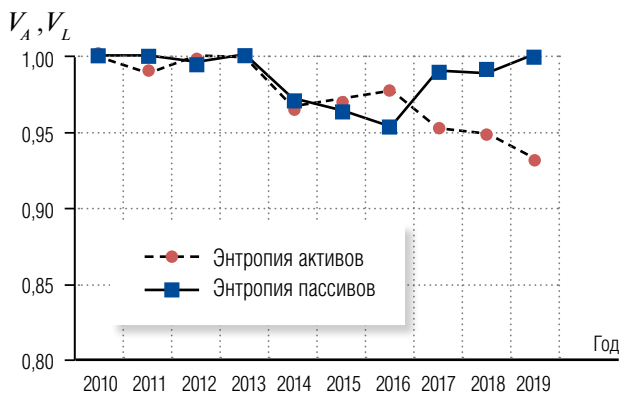
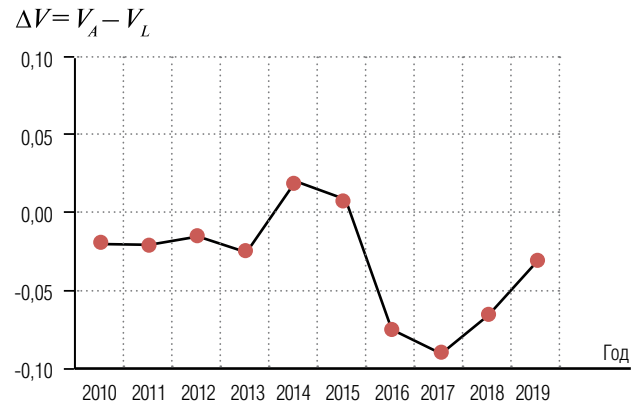
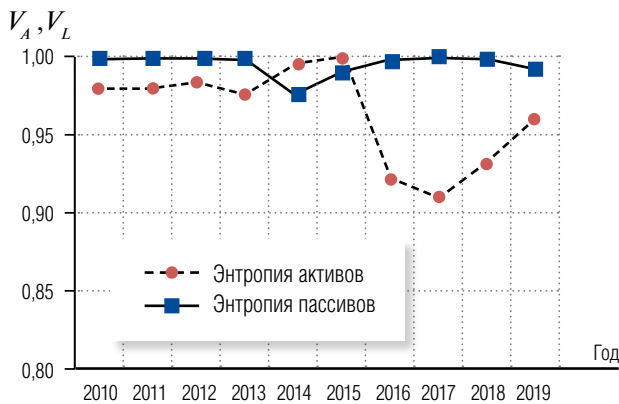
Рис. 8. Энтропия активов (V_A) и энтропия пассивов (V_L) банка Промсвязьбанк.Рис. 9. Энтропия активов (V_A) и энтропия пассивов (V_L) банка Уралсиб.

Таблица 3.

Дисперсии временных зависимостей энтропий и разности энтропий активов и пассивов

Банк	Валюта баланса на 01.01.2019 (тыс. руб)	Дисперсия энтропии		Дисперсия разности энтропий $\sigma_{\Delta V}$ (%)	Лицензия
		активов σ_A (%)	пассивов σ_L (%)		
ВТБ	14 331 232 043	1,43	1,47	0,47	Имеется
Сбербанк России	28 361 319 019	3,23	3,11	0,72	Имеется
Промсвязьбанк	1 667 080 707	3,53	2,17	2,88	Санация
Уралсиб	582 185 086	4,64	0,86	4,55	Санация
ТЭМБР-БАНК	11 636 190	2,21	2,91	3,18	Отозвана
НВКбанк	12 319 149	2,39	6,42	4,34	Отозвана

Примечание: В целях корректного восприятия данных отметим, что дисперсия разности энтропий не является алгебраической суммой или средним значением дисперсий активов и пассивов.

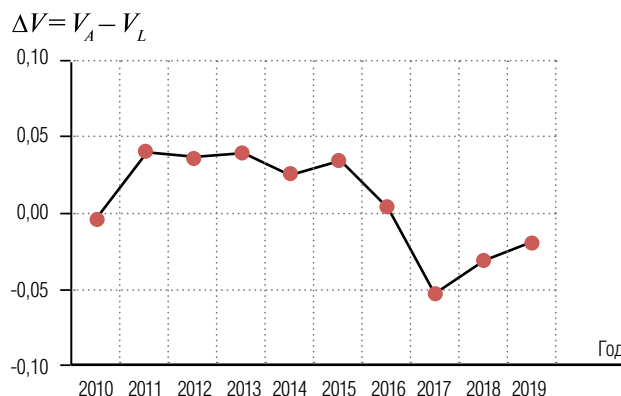
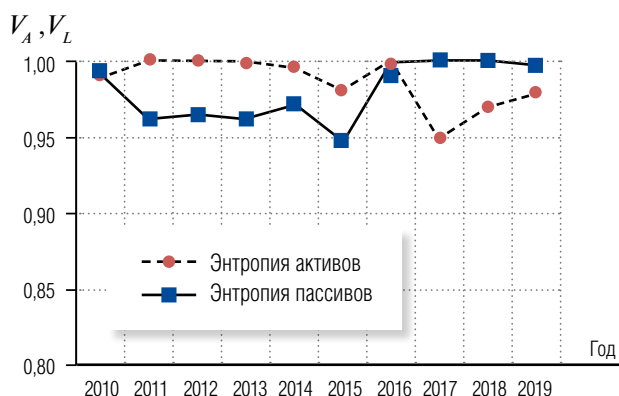


Рис. 10. Энтропия активов (V_A) и энтропия пассивов (V_L) банка ТЭМБР-БАНК.

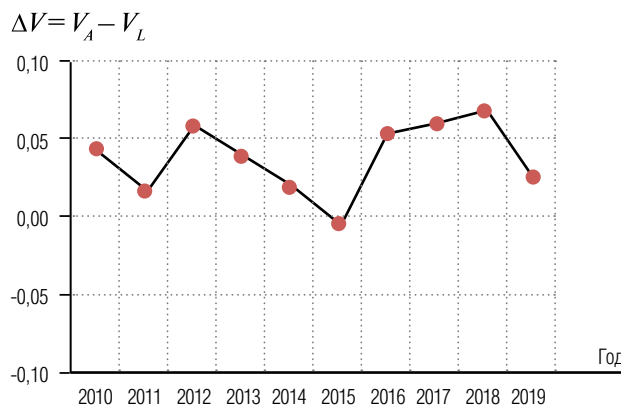
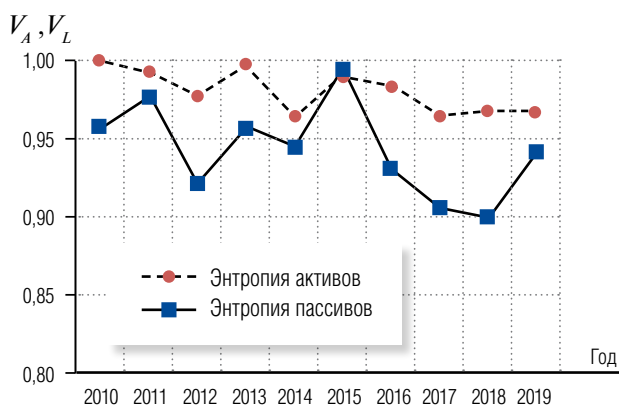


Рис. 11. Энтропия активов (V_A) и энтропия пассивов (V_L) банка НВКбанк.

этапе исследований было бы целесообразно более широко и детально изучить статистику пределов значений $\sigma_{\Delta V}$ для различных групп банков. Можно предположить, что соответствующее исследование большего количества банков (например, всех банков, имевших лицензию в 2010 году) позволит оценить значения констант $\underline{\sigma}$ и $\bar{\sigma}$ таких, что при справедливости неравенства $\sigma_{\Delta V} < \underline{\sigma}$ можно утверждать, что в среднесрочной перспективе у соответствующего банка лицензия не будет отозвана, а при справедливости неравенства $\sigma_{\Delta V} > \bar{\sigma}$ можно утверждать, что в среднесрочной перспективе у соответствующего банка лицензия будет отозвана.

Кроме того, чтобы более точно и предметно определить время, размер и источник дисбаланса в деятельности банка, следует отдельно анализировать временные зависимости энтропий

постатейных распределений активов и пассивов. Именно методика расчета энтропии постатейных распределений, предложенная в данной работе, может дать ответ на поставленный вопрос. Более того, появляется возможность управлять энтропией банков, целенаправленно корректируя постатейные распределения активов и пассивов.

Заключение

Применение энтропийного подхода к оценке равновесия постатейных распределений активов и пассивов бухгалтерского баланса существенно расширяет границы практического использования системных методов анализа и управления состоянием кредитно-финансовых организаций, поскольку установлена формализованная связь энтропии с распределением финансовых средств по статьям активов и пассивов.

В частности, в рамках проведенного исследования предложена методология расчета энтропии как интегрального параметра произвольных числовых рядов и приведены пилотные результаты его использования при анализе динамики состояния управляющей системы конкретных банков. Показано, что нарушение синхронности изменений энтропии активов и энтропии пассивов

указывает на возникновение дисбаланса в состоянии банка.

Принимая во внимание унимодальный характер зависимости энтропии от параметра неравномерности распределения, становится возможным локализовать причину дисбаланса и внести целевым образом коррективы в распределение средств активов и пассивов. ■

Литература

1. Bertalanffy L. General System Theory. Foundations, Development, Applications. N.Y.: George Braziller Inc., 1968.
2. Лийв Э.Х. Инфодинамика. Обобщенная энтропия и негэнтропия. Таллин: Типография АО Юхисэлу, 1998.
3. Прангишвили И.В., Бурков В.Н., Горгидзе И.А., Джавахадзе Г.С., Хуродзе Р.А. Системные закономерности и системная оптимизация. М.: СИНТЕГ, 2004.
4. Ashby W. Ross an introduction to cybernetics: Vol. I. London: Chapman & Hall Ltd. Second impression, 1957.
5. Балеску Р. Равновесная и неравновесная статистическая механика. В 2 т.: Пер. с англ. М.: Мир, 1978.
6. Вильсон А.Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем: Пер. с англ. М.: Наука, 1978.
7. Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса. Новый подход к статистической теории открытых систем. М.: Наука, 1990.
8. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. М.: Наука, 1987.
9. Королев О.Л., Кусый М.Ю., Сигал А.В. Применение энтропии при моделировании процессов принятия решений в экономике: монография. М.: ИНФРА-М, 2022. <https://doi.org/10.12737/1865188>.
10. Малинецкий Г.Г. Математический основы синергетики: Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. Изд. 7-е. М.: Эдиториал УРСС, 2012.
11. Мартин Н., Ингленд Дж. Математическая теория энтропии: Пер. с англ. М.: Мир, 1988.
12. Романовский М.Ю., Романовский Ю.М. Введение в эконофизику. Статистические и динамические модели. М.—Ижевск: РХД, 2007.
13. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ. М.: Мир, 1991.
14. Шеннон К.Э. Работы по теории информации и кибернетике: Пер. с англ. М.: Издательство иностранной литературы, 1963.
15. Lorenz M.O. Methods of Measuring the Concentration of Wealth // Publications of the American Statistical Association. 1905. Vol. 9. P. 209–219.
16. Крянев А.В., Матохин В.В., Климанов С.Г. Статистические функции распределения ресурсов в экономике. М.: Препринт МИФИ, 1998.
17. Haritonov V.V., Kryanev A.V., Matokhin V.V. The adaptable potential of economic systems // International Journal of Nuclear Governance, Economy and Ecology. 2008. Vol. 2. P. 131–145. <https://doi.org/10.1504/IJNGEE.2008.018332>
18. Пригожин И. Неравновесная статистическая механика, Пер. с англ. М.: Изд-во «МИР», 1964.
19. Крянев А.В., Матохин В.В., Харитонов В.В. Энтропийный метод мониторинга реализации экономических систем // Экономические стратегии. 2010. № 5. С. 58–63.
20. Antoniou I. [et al.] Analysis of resources distribution in economics based on entropy // Physica A. 2002. Vol. 304. P. 525–534. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(01\)00575-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(01)00575-1)
21. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, М: ФИЗМАТЛИТ, 2002.
22. Каряев Е.В., Матохин В.В. Энтропийный «компас» для анализа бюджета экономической системы // Neftegaz.ru. 2021. № 5(113). С. 30–37.
23. Пачоли Л. Трактат о счетах и записях / Под ред. Я. Соколова. М.: Финансы и статистика, 2001.
24. Дорошенко М.Е. Анализ неравновесных состояний и процессов в макроэкономических моделях. М.: Экономический факультет МГУ, ТЕИС, 2000.
25. Сергеев В.М. Пределы рациональности. Термодинамический подход к теории термодинамического равновесия. М.: ФАЗИС, 1999.

Об авторах

Матохин Валентин Викторович

советник Генерального директора, Акционерное общество «ТЕКОРА», 117393, Москва, ул. Профсоюзная, д. 56, эт. 15, оф. 19-23;

E-mail: vmatokhin@tekora.ru

ORCID: 0000-0003-4447-8922

Сигал Анатолий Викторович

доктор экономических наук, профессор;

профессор кафедры бизнес-информатики и математического моделирования, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, 295007, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, д. 4;

E-mail: ksavo3@cfuv.ru

ORCID: 0000-0003-2090-4464

Entropy approach to the analysis of banks' balance sheets

Valentin V. Matokhin^a

E-mail: vmatokhin@tekora.ru

Anatoliy V. Sigal^b

E-mail: ksavo3@cfuv.ru

^a Joint Stock Company "TEKORA"

Address: of. 19-23, fl. 15, 56, Profsoyuznaya Str., Moscow 117393, Russia

^b V.I. Vernadsky Crimean Federal University

Address: 4, Prospekt Vernadskogo, Simferopol 295007, Russia

Abstract

Accounting ensures the collection and systematization of documented information about the facts of the economic life of enterprises and organizations. The information collected is systematized and formalized in various forms of reporting. One of the key forms of reporting is the balance sheet. The balance sheet is based on the principle of double entry, according to which each change in the financial resources of the organization is reflected in at least two accounts related assets and liabilities. Thus, the condition of the balance of the volumes of the generalized values of assets and liabilities is realized. The control element of the balance sheet is the equality of the values of assets and liabilities. However, this control element does not allow us to identify the systemic difference (diversity) of balance sheets with equality of distributed funds. Namely, the equality condition is integral in nature and its fulfillment is not related to the specific nature of item-by-item distributions, since, at a given size of the total cost of the balance sheet, the condition can be fulfilled by various options for the distribution of financial resources by assets and liabilities.

Therefore, within the framework of this article, an attempt has been made to introduce a new control element of the balance sheet, taking into account the uneven distribution of financial resources by assets and liabilities of credit and financial organizations.

Keywords: modeling, entropy, balance sheet, assets, liabilities

Citation: Matokhin V.V., Sigal A.V. (2023) Entropy approach to the analysis of banks' balance sheets. *Business Informatics*, vol. 17, no. 1, pp. 53–65. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.53.65

References

- Bertalanffy L. (1968) *General system theory. Foundations, development, applications*. N.Y.: George Braziller Inc.
- Liiv E.Kh. (1998) *Infodynamics. Generalized entropy and negentropy*. Tallinn: Juhiselu printing house (in Russian).
- Prangishvili I.V., Burkov V.N., Gorgidze I.A., Javakhadze G.S., Khurodze R.A. (2004) *System regularities and system optimization*. Moscow: SINTEG (in Russian).
- Ashby W. Ross (1957) *An introduction to cybernetics: Vol. I*. London: Chapman & Hall Ltd. Second impression.
- Balescu R. (1978) *Equilibrium and non-equilibrium statistical mechanics*. Moscow: Mir (in Russian).
- Wilson A.J. (1978) *Entropy methods for modeling complex systems*. Moscow: Nauka (in Russian).
- Klimontovich Yu.L. (1990) *Turbulent motion and the structure of chaos. A new approach to the statistical theory of open systems*. Moscow: Nauka (in Russian).
- Kolmogorov A.N. (1987) *Information theory and theory of algorithms*. Moscow: Nauka (in Russian).
- Korolev O.L., Kussy M.Yu., Sigal A.V. (2022) *Entropy in modeling decision-making processes in economics: monograph*. Moscow: INFRA-M (in Russian). <https://doi.org/10.12737/1865188>
- Malinetsky G.G. (2012) *Mathematical foundations of synergetics: chaos, structures, computational experiment*. 7th ed. Moscow: Editorial URSS (in Russian).
- Martin N., England J. (1988) *Mathematical theory of entropy*. Moscow: Mir (in Russian).
- Romanovsky M.Yu., Romanovsky Yu.M. (2007) *Introduction to econophysics. Statistical and dynamic models*. Moscow–Izhevsk: RHD (in Russian).
- Haken G. (1991) *Information and self-organization: A macroscopic approach to complex systems*. Moscow: Mir (in Russian).
- Shannon K.E. (1963) *Works on information theory and cybernetics*. Moscow: IL (in Russian).
- Lorenz M.O. (1905) Methods of measuring the concentration of wealth. *Publications of the American Statistical Association*, vol. 9, pp. 209–219.
- Kryanev A.V., Matokhin V.V., Klimanov S.G. (1998) *Statistical functions of resource allocation in the economy*. Moscow: Preprint MEPhi (in Russian).
- Haritonov V.V., Kryanev A.V., Matokhin V.V. (2008) The adaptable potential of economic systems. *International Journal of Nuclear Governance, Economy and Ecology*, vol. 2, pp. 131–145. <https://doi.org/10.1504/IJNGEE.2008.018332>
- Prigogine I. (1964) *Non-Equilibrium statistical mechanics*. Moscow: MIR (in Russian).
- Kryanev A.V., Matokhin V.V., Haritonov V.V. (2010) Entropy method of monitoring the implementation of economic systems. *Economic strategies*, no. 5, pp. 58–63 (in Russian).
- Antoniou I. [et al.] (2002) Analysis of resources distribution in economics based on entropy. *Physica A*, vol. 304, pp. 525–534. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(01\)00575-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(01)00575-1)
- Landau L.D., Lifshits E.M. (2002) *Statistical physics*. Moscow: FIZMATLIT (in Russian).
- Karyaev E.V., Matokhin V.V. (2021) Entropy “compass” for the analysis of the budget of the economic system. *Neftegaz.ru*, no. 5(113), pp. 30–37 (in Russian).
- Pacioli L. (2001) *A Treatise on Accounts and Records*. Moscow: Finansy i statistika (in Russian).
- Doroshenko M.E. (2000) *Analysis of nonequilibrium states and processes in macroeconomic models*. Moscow: Faculty of Economics at Moscow State University, TEIC (in Russian).
- Sergeev V.M. (1999) *Limits of rationality. Thermodynamic approach to the theory of thermodynamic equilibrium*. Moscow: FAZIS (in Russian).

About the authors

Valentin V. Matokhin

Advisor to the General Director, Joint Stock Company "TEKORA", of. 19-23, fl. 15, 56, Profsoyuznaya Str., Moscow 117393, Russia;

E-mail: vmatokhin@tekora.ru

ORCID: 0000-0003-4447-8922

Anatoliy V. Sigal

Dr. Sci. (Econ.), Professor;

Professor, Department of Business Informatics and Mathematical Modeling, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4, Vernadskogo Prospekt, Simferopol 295007, Russia;

E-mail: ksavo3@cfuv.ru

ORCID: 0000-0003-2090-4464

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.66.85

The impact of ICT on inter-organizational knowledge sharing for SMEs growth

Naief Azyabi 

E-mail: nazyabi@jazanu.edu.sa

Jazan University

Address: Prince Mohamed Street, Jazan 45142, Saudi Arabia

Abstract

It is common knowledge that information and communication technologies (ICTs) have made continuous inroads in the knowledge management field; thus, this study is modeled to examine the impact of ICTs on inter-organizational knowledge sharing (IOKS) and its subsequent effect on the growth of small and medium-sized enterprises (SMEs). The study adopts a descriptive survey design, using the quantitative research approach. Using the simple random sampling technique, a web-based questionnaire was used to collect data from 187 respondents. Results showed that IOKS among SMEs is not carried out to a great extent, which means that it is not a common practice among SMEs. Findings showed that less than half of the SMEs used training programs, internship programs, research collaboration and workshops for IOKS. It further showed that IOKS enhances sales, productivity, profit, organizational assets and equity. This study provides evidence of how ICT systems/tools have been used in IOKS and their impact on the growth of SMEs.

Keywords: inter-organizational knowledge sharing, small and medium-sized enterprises, information and communication technologies

Citation: Azyabi N.G. (2023) The impact of ICT on inter-organizational knowledge sharing for SMEs growth. *Business Informatics*, vol. 17, no. 1, pp. 66–85. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.66.85

Introduction

Generally, the emergence of information and communication technologies (ICTs) has changed practices and procedures in numerous domains. This is evident in knowledge management

practices, which include knowledge sharing. IOKS is typically mutually beneficial to all sides involved [1], with the most significant benefit being the integration of ideas [2], which promotes the interchange of concepts on shared goals among collaborating organizations [3]. The

relevance and strategic importance of inter-organizational knowledge systems for healthcare providers, government, and other citizens have been demonstrated in several research studies [4, 5]. However, there is no evidence that ICTs have an impact on IOKS in small and medium-sized businesses (SMEs) in terms of SMEs' growth or lack thereof. More importantly, ICTs have permeated all walks of life and it has also been shown that SMEs play a significant role in the driving knowledge-based economy [6, 7]. Moreover, SMEs' growth will positively improve the economic growth of a country [8]. Therefore, it becomes pertinent to understand how SMEs have fared in their use of ICT for inter-organizational knowledge sharing (IOKS) in Saudi Arabia since there is no current empirical evidence in respect of that.

Generally, knowledge has been described by different authors in different contexts. The perspective of this study, however, is viewed from the information science/information systems context, which is the foundation of management information systems. Knowledge is an idea that emanates from human minds and spreads widely when people are interested in its acquisition. It was stated further that efficient knowledge requires awareness, identification and application of it for the advancement of humanity [9]. Huda et al. [10] described knowledge as a tool that is used in enabling the development of an individual and/or society. This suggests that knowledge is dynamic: it evolves by developing from one shape or form to another in the enhancement of a person, group of people, or societal advancement. Nonaka [11] proposed a four-stage model to explain the process of switching from one type of knowledge to another, which includes socialization-externalization-combination-internalization (SECI).

Socialization is concerned with social interaction among individuals to share and exchange tacit knowledge which can be through training programs, while externalization is the conversion of tacit knowledge into knowledge-bearing resources or tangible innovations [12]. Meanwhile, the combination in the SECI model postulates that inter- and intra-organization knowledge coalesce by collecting, merging, editing, and processing, through the use of computers and other information technologies [13]. Internationalization is the assimilation of explicit knowledge pooled together, for example, an online database, which would enhance the tacit knowledge base of the employees in the union organization [14]. Consequently, the newly acquired knowledge would serve as the basis for employees' new routines at work whereby they will put into practice what they have learned or know. Going by Nonaka's model

[11], it is evident that there is a clear distinction between tacit and explicit knowledge. Meanwhile, both tacit and explicit knowledge are considered for this study.

IOKS can be described as a process that concerns the distribution and redistribution of employees' inputs among different organizations, where knowledge can be regarded as the input while sharing is the process [15]. Since there is a dearth of literature on inter-organizational knowledge sharing, some scholars' definitions of knowledge sharing are considered to underpin the explanation of the concept. Teixeira et al. [16] viewed knowledge sharing as the generation and donation of knowledge to enhance innovation or creativity. Loebbecke et al. [17] argued that IOKS concerns interpersonal interactions, team-based systems, network ties and business intelligence. This provides that knowledge sharing is the exchange of business and logistics ideas using techniques such as collaboration, combination, compromise, accommodation, avoidance and competition [18]. Yang [19] showed that the use of internal marketing in knowledge sharing enhances organizational effectiveness. It is important to note that organizational effectiveness does not translate into growth [20, 21].

Hinder et al. [2] found that shared technology is one of the facilitators of IOKS. ICTs play a considerable role in IOKS [22], although the overall influence on SMEs' growth is unknown. Audretsch and Belitski [23] recommended that future studies should provide insights into how resources acquired through inter-organizational knowledge exchange might help SMEs' growth. Meanwhile, Oyebiyi [24] asserted that ICTs are critical for SMEs to improve customer service delivery and remain competitive in their respective industries. Based on this, the goal of this research study is to ascertain how ICT can help facilitate IOKS. Inter-organizational knowledge exchange is critical to SMEs [25, 26]. However, there is no specific evidence of the influence of knowledge sharing on SMEs growth in Saudi Arabia. Thus, this study seeks to fill the identified gap.

Moreover, previous studies [27–29] have been conducted on SMEs' adoption of ICTs for knowledge management, which is regarded as knowledge management systems or knowledge management networks. Also, some studies have investigated the impact of IOKS on regional sustainable development [30], cultural differences among different organizations [31] and innovative ideas [32]. While these studies showed how the infusion of ICT in IOKS influences sustainable development, cultural differences and innovations, there

is no evidence as to how IOKS influences SMEs' growth. Thus, this study seeks to provide empirical evidence that would plug this obvious gap. The study is significant, because it establishes the influence of applying ICT to IOKS, and how that would impact the expansion and growth of SMEs. The article begins with an introduction that presents essential background information which rationalizes the importance of the research study. The first section establishes the gaps that are present in the literature and, based on these, sets out the research questions that the study findings seek to answer. The second section presents a review of literature related to the themes of the study and illustrates the conceptual model that guides the research. The third section is the methodology section, followed by the results, discussion of findings, conclusion, and practical/theoretical implications set out in a sequential manner.

1. Research questions

Drawing on the background introduction and rationale for carrying out this study, the following research questions guide the study's overall aim:

1. To what extent are SMEs in Saudi Arabia practicing IOKS?
2. What are the ICT systems/tools used by SMEs in inter-organizational knowledge sharing?
3. To what extent is SMEs growth influenced by inter-organizational knowledge sharing?

2. Review of related literature and hypotheses

This section analyses literature related to the use of ICT for facilitating IOKS in SMEs, and the influence of IOKS on SMEs growth.

2.1. IOKS in SMEs

IOKS is a relatively recent topic, but it is expanding [33]. Tesavrita et al. [34] used constructs of collaborative engagement activities that include the timeframe (short or long-term collaboration), technological factor, learning mechanism (discussion, training, internship, research collaboration, and workshops) and entity (stakeholders) to propose a conceptual model for IOKS in SMEs (among stakeholders). The framework was tested using data from two Indonesian SMEs, and the results revealed that IOKS occurred through training, research, internships and discussions. IOKS is essential for social and economic development, most especially in service-based and knowledge-based sectors [5].

Ibidunni et al. [35] considered SMEs as being part of the knowledge-based sector, implying that cross-organizational knowledge sharing is possible.

Chong et al. [26] found that SMEs owners in Malaysia consider how to best design an appropriate strategy to collect relevant information from stakeholders, use this information to enhance business growth, learn from relevant stakeholders and sponsor employees to attend conferences or pursue further studies, as is important in IOKS. It was, however, shown that most of the actions required in inter-organizational knowledge exchange are difficult to implement for SMEs, except for the customer-supplier relationship and license ownership. A qualitative study by Al-Jabri and Al-Busaidi [25] revealed that the influencing elements of IOKS among Omani SMEs include donor firm features, recipient firm features, nature of the knowledge, and inter-organizational dynamics. However, risk and trust were found to be the core factors in the IOKS. It was revealed that knowledge exchange among SMEs is accompanied by a degree of trust. Knowledge intensity has a beneficial effect on inter-organizational trust [36]. Furthermore, the result showed a positive significant relationship between inter-organizational trust and SMEs performance.

Li et al. [37] analyzed the influence of IOKS on enterprise resource planning (ERP) deployment. Organizational preparedness, positive benefits and costs, and external influences were found to be factors that could improve inter-organizational information sharing. Guedda [38] showed that social proximity, leadership style and organizational orientation enhance IOKS. Similarly, Cheng and Fu [39] revealed that both relationship and organizational orientations are essential in promoting cross-organizational knowledge exchange, since they reduce risk in the process of sharing knowledge and improve collaborative behavior. Cheng [40] discovered that in the Taiwanese manufacturing business relational risk is adversely associated with IOKS. Meanwhile, Oliveira et al. [41] showed that trust is essential in inter-organizational relations. This indicates that trust is critical in relational risk and that it is interconnected to the exchange of knowledge among organizations.

2.2. Impact of ICT use in facilitating IOKS in SMEs

Nowadays, ICT is crucial to SMEs, and its impact on social, economic and personal development is well-established in the literature [42, 43]. Technologies and tools have been adopted in inter-organizational collaboration [1, 44, 45] and more technologies are

emerging for knowledge sharing with the aim of organizational development [46]. Tesavrita et al. [34] revealed that IOKS was practiced by two SMEs in Indonesia both online and offline; hence, there were no technological issues. This indicates that ICT's influence on facilitating knowledge sharing in SMEs may be limited. Scuotto et al. [28] showed that ICT-driven intra-organizational knowledge sharing would improve innovation processes and enhance new product development for SMEs. Chong et al. [26] showed that the technologies used in IOKS among SMEs include social media, extranet, e-mail, customer management systems, desktop computer conferencing, knowledge repository/company database and teleconferencing.

Organizations in the business and health sectors employ repository information sharing and networking tools for IOKS [5]. The study established that ICT influences the knowledge-sharing patterns of different media, such as text, images, audio and video. However, there is no evidence of the effect of using ICT to facilitate IOKS in SMEs. Al-Busaidi [47] revealed medical doctors' perceptions of the impact of using technologies in IOKS; namely that it resulted in improved staff collaboration, information availability, knowledge-sharing processes, individual learning, and decision-making processes, increased information flow and customer service, saved the organization time and enhanced innovation. Premised on this gap in the literature, this study seeks to provide new insight into SMEs' perspectives.

Altarkait [48] showed that social media have a good social and transactional impact on the inter-organizational interactions of SMEs in Kuwait. Results further showed that the use of social media influences the use of traditional technologies for the inter-organizational exchange of ideas among SMEs. Pérez-González et al. [49] found that adopting social media platforms by SMEs for knowledge sharing has a favorable effect on organizations. Soto-Acosta et al. [50] revealed that technological expertise and competencies have a substantial impact on SMEs' web knowledge sharing. It was shown in another study that technical assistance has a considerable favorable impact on explicit knowledge exchange [51]. This indicates that the significance of technology is unknown in tacit knowledge sharing among SMEs. However, Castaneda and Toulson [52] demonstrated that ICT tools like text messaging and video conferencing enable tacit knowledge exchange, whereas e-mail does not. Burnett [53] established that explicit knowledge sharing plays an important role in technological innovation compared to tacit knowledge sharing. Based on the foregoing, it is hypothesized that:

H1: ICT use has a statistically significant positive effect on IOKS in SMEs.

2.3. Influence of IOKS on SMEs growth

Ahokangas et al. [54] showed that IOKS is a daunting task, especially when it is technology-driven and executed by SMEs without a knowledge management structure. The results further showed that SMEs engage in IOKS when their workload is explosive and there is no alternative to enhance the deliveries. Also, IOKS was found to have a substantial impact on SMEs growth. Chong et al. [26] revealed that the influence of ICT on IOKS is unclear, since the majority of the respondents were neutral regarding the effectiveness of IOKS on corporate performance. Mohsam and Van Brakel [55] found that the strategy taken in sharing both tacit and explicit knowledge determines the success of SMEs in the Western Cape, South Africa and that the IOKS mechanism is a factor of SMEs' competitive advantage.

Cresswell et al. [56] revealed that formal knowledge sharing prompts learning and enhances the growth of an organization. However, it was shown that the formal network in knowledge sharing is more effective when supported by informal networks. Hinder et al. [2] also showed that a hybrid of informal and formal networks in IOKS enhances learning and growth. Al-Jabri and Al-Busaidi [57] revealed that SMEs garnered learning benefits from informal IOKS, and it was discovered that IOKS has no substantial impact on SMEs' innovation performance. Rivera et al. [58] suggested that there is a need for SMEs to consider networks of trust, deference to other SMEs, patience and an enabling work environment. This indicates that there is a need for credibility and belief among SMEs that are participating in IOKS, whether in an informal or formal domain.

Alashwal et al. [59] showed that there is a statistically significant, positive association between IOKS and SMEs performance in the construction industry in Kuala Lumpur, Malaysia. The results showed that inter-organization learning, externalization (tacit knowledge to explicit knowledge), and internalization (explicit knowledge to tacit knowledge) improve SMEs' performance. Hsieh [60] revealed that a successful SMEs adopts a knowledge-sharing mechanism that includes a feedback apparatus, language diversity, personal focus and the availability of multiple cues. Chong et al. [26] found that it is better to share external (explicit) knowledge than internal (implicit) knowledge in inter-organizational knowledge exchange. It was shown that

IOKS strategies have been found to have a substantial impact on SMEs success. SMEs growth was not explored by all of the studies in the extant literature, which studied inter-organizational knowledge sharing. Shepherd and Wiklund [61] pointed out that the elements used for measuring SMEs growth include sales, employees, profit, assets and equity. Meanwhile, the impact of IOKS among different organizations was studied in relation to SMEs success. As a result, the goal of the research is to determine how IOKS affects SMEs growth. The following hypothesis will be tested based on the foregoing:

H2: IOKS has a statistically significant, positive effect on SMEs growth.

Moreover, understanding the influence of ICT-enabled IOKS on SMEs' growth may be over simplistic without having evidence on how each ICT tool determines SMEs' growth. Thus, this study attempts to establish how each ICT system/tool predicts SMEs' growth. This will enable SMEs owners to be informed about the most relevant and effective ICT tool to adopt in IOKS. Gaviria-Marin et al. [62] found that ICT has an enabling effect on more complex competencies like knowledge management capability and product innovation flexibility, which serve as mediating variables to add value and boost performance through innovation in business. Ceci et al. [63] established that ICT tools promote creative, strategic and practical tasks when using knowledge sharing in the innovation process. Ammirato et al. [64] concluded in their study that there is low awareness of using social media for knowledge transfer among B2B companies in the Finnish technology industry. This indicates that social media may not significantly predict SMEs' growth. Byosiere et al. [65] showed that social networks do not enhance explicit knowledge, but they enhance tacit knowledge. This was established in an attempt to establish the interrelationships among social networks, knowledge types and knowledge sources. Therefore, this study will test the alternate hypothesis which states that:

H3: ICTs are statistically significant predictors of SMEs' growth.

3. Theoretical framework

This study is underpinned by the open innovation theory. The relationships of the theory with the major themes of the study were established.

Remneland-Wikhamn and Knights [66] chronicled that the open innovation model was proposed by Chesbrough [67]. They noted that the proponent argues that companies tend to protect their innovation by

barring any form of knowledge exchange with the external environment, which is regarded as "closed innovation." However, it was shown that a seamless exchange of relevant and appropriate knowledge would expand market opportunities and growth. External knowledge that would enhance organizational performance should be integrated to enhance business performance [68]. This indicates that IOKS is hinged on a business model. Internal knowledge that does not support the business model will be shared. The shift in the practice of open innovation management in organizations gave rise to the idea of open innovation theory [68]. Santoro et al. [69] showed that SMEs in the United States rely on their customers for external knowledge when developing a new product or service.

The move from closed to open innovation theory emphasized the importance of external sources of knowledge and ideas in the innovation process [69, 70]. The open innovation paradigm encourages a systematic approach to rely on both internal and external resources, as well as maximizing both internal and external channels to boost market presence and buoyancy [67]. Gassman and Enkel [71] stated that openness takes place when there is a search for a new source of knowledge from external partners to enhance the internal process; generating and bringing new ideas to market and passing on technology and knowledge to others, and relying on the shared knowledge or ideas to create a synergy that would enhance collaboration. Meanwhile, Eseryel [72] showed that ICTs enhance knowledge creation for open innovation through effective knowledge inflow and outflow. It was established that SMEs size and technology intensity are considered factors of the extent of open innovation in an organization [73, 74].

Open innovation has been studied from the perspectives of open innovation mode, organizational cooperation, and open innovation performance [75]. The authors stated further that open innovation theory is difficult to understand, owing to the lack of clarity on its fundamental concept and measures. Research and technical systems are critical elements in open innovation theory, which guides the perspectives of innovation in SMEs through IOKS [67]. Van de Vrande et al. [74] found that, in comparison with small organizations, medium-sized enterprises are heavily involved in open innovation. The results, however, revealed that SMEs use open innovation to improve their performance in terms of meeting customer needs and gaining a competitive edge. Howells et al. [76] adopted the theory to explore the impact of interactions and collaborations among universities and other higher institutions of learning.

Subrahmanya et al. [77] concluded that innovation in sales is a significant contributor to SMEs growth in terms of gross value added. Hence, the result of open innovation, which stems from the integration of external knowledge, contributes to SMEs growth. Studies [78, 79] have shown that technological innovation enhances SMEs growth. Contextually, this implies that ICT-supported, IOKS among SMEs can facilitate their growth. The contemporary technological innovation among SMEs includes the adoption of social media, computerized record management and digital marketing [80]. Love and Roper [81] concluded that, aside from productivity, growth (sales) is another important measure for innovation in SMEs.

The conceptual model is the framework that guides the interconnected relationships that exist among the variables in this study. The conceptual model is presented in Fig. 1. It is proposed that ICT tools (such as social media, extranet, e-mail, customer management systems, desktop computer conferencing, knowledge repository/company database and teleconferencing) have a statistically positive effect on IOKS among SMEs. Moreover, the model illustrates that ICT-enabled IOKS has a statistically significant, positive effect on firm growth. It is also proposed in the model that IOKS (such as discussions, training, internship, research collaboration, and workshops) has a positive effect on SMEs growth (sales, profit, employee productivity, assets and equity).

4. Methodology

A descriptive survey research design was adopted in this study as it seeks to describe a particular phenomenon [82]. The quantitative research approach was chosen, because it allows the collection of numerical data from a wide range of individuals or entities [83]. The data were collected using a five-point Likert scale questionnaire with the following scale: Strongly Agree – 5 to Strongly Disagree – 1; Great Extent – 5 to No Extent – 1. Two scholars in the area of knowledge management were given the questionnaire to ensure that the items on the

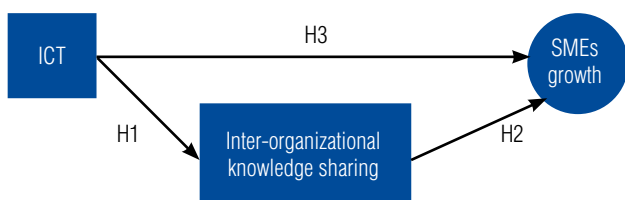


Fig. 1. Conceptual model.

questionnaire were understandable and could elicit the necessary information from the respondents. The questionnaire was revised based on the comments and observations of the scholars, and it was then designed to be a web-based questionnaire. Mubasher [84] reported that the total number of SMEs in the Kingdom of Saudi Arabia (KSA) is 614 000, which represents the population of the study. The simple random sampling technique was adopted for the study. This kind of technique gives equal opportunity to all SMEs owners in KSA [85]. Furthermore, the Raosoft sample size calculator was used to determine the 384-sample size. The link to the web-based questionnaire was shared with the potential respondents and only 187 of them responded to the questionnaire, which amounts to a 48.7% response rate. It has been argued that a 30–40% response rate is appropriate for the web-based questionnaire [86, 87].

Collected data were analyzed with the use of IBM SPSS (version 23). Moreover, the research questions were analyzed using the descriptive statistics of frequency count and simple percentage, while the hypotheses were tested with the inferential statistics of ANOVA and multiple regression. The H1 and H2 are tested with ANOVA, while H3 is tested using multiple regression. Meanwhile, the items that answered questions on IOKS in SMEs were adapted from Tesavrita et al. [34]. The items adapted included discussion, training, internship, research collaboration and workshops. All of these items are designed to elicit the perception of SMEs owners about IOKS. All of these items pose questions about the opinion of SMEs owners in the KSA about discussing knowledge with other SMEs owners. Moreover, the study adopted Chong et al.’s [26] measure to ascertain the impact of ICT use in facilitating IOKS among SMEs. These items are to show how SMEs owners in the KSA have been using ICT to enhance inter-organizational sharing of knowledge. The items adapted included social media, extranet, e-mail and customer management systems. To ascertain the influence of ICT-enhanced IOKS on SMEs growth, items were adapted from Shepherd and Wiklund [61]. The items include sales, employees, profit, assets and equity.

5. Results

This section presents the results from the collection and analysis of the data. The data were analyzed using descriptive statistics (frequency count and simple percentage) and inferential statistics, as described in the methods section (ANOVA and multiple regression). Tables 1–9 are used to display the results.

Table 1 shows the demographic information from the responses of the respondents. This table shows that the construction industry has the highest representation of respondents (3.58%), while the least representation comes from IT services (11.2%). Meanwhile, manufacturing industry has 21.4%, the restaurant and food industry has 19.3% and retail service has 12.3%. This implies that the participants have more representation from organizations in the construction industry. *Table 1* shows that more than half (54.5%) of the respondents' organizations were between 5–10 years old, while a meager 10.7% were less than two years. It can be seen from table 1 that more than half of the respondents' organizations had less than 50 employees, as 30.5% of them had between 1–5 employees and 47.6% had between 6–49 employees.

Table 1.

**Demographic information
of respondents**

Items	Frequency	Percentage (%)
Sector		
IT services	21	11.2
Retail	23	12.3
Manufacturing	40	21.4
Restaurants and food	36	19.3
Construction	67	35.8
Organization's age		
Less than 2 years	20	10.7
2–5 years	65	34.8
5–10 years	102	54.5
Number of employees		
1–5	57	30.5
6–49	89	47.6
50–249	41	21.9
Annual income of organization		
Less than 3M	123	65.8
3–40M	64	34.2
Respondents' role		
Chief Executive Officer	118	63.1
Director of Human Resources	18	9.6
Director of Information Technology	19	10.2
Director of Accounting and Finance	20	10.7
Other	12	6.4

Meanwhile, only 21.9% had between 50–249 employees. Moreover, a significant number of the respondents' organizations (65.8%) earned less than 3M, while 34.2% earned between 3–40M. Furthermore, it can be observed in *Table 1* that more than half of the respondents (63.1%) were chief executive officers in their organizations. This figure outweighed total representation with roles of director of human resources (9.6%), director of information technology (10.2%), director of accounting and finance (10.7%) and others (6.4%).

Table 2 shows that only 6.4% used discussion as a technique to a very great extent, while 27.3% used it to a great extent, which amounted to 33.7% of the respondents using a discussion with other SMEs as a technique to enhance IOKS. This indicates that discussion with other SMEs was not used to a great extent or a very great extent. Moreover, 7.5% used training programs to enhance IOKS to a very great extent, 25.1% used it to a great extent, 24.6% used it to some extent, 29.9% used it to a little extent, and 12.8% used it to no extent. This implies that only 32.6% used training programs as a means of IOKS to a great and very great extent.

It can be seen in *Table 2* that 8.9% used the internship program to a very great extent, 27.3% used it to a great extent, 27.8% used it to some extent, 28.3% used it to a little extent, and 8.0% used it to no extent. This implies that more than half (54.1%) of the respondents did not use the internship program as a mechanism to partake in IOKS to a great or very great extent. *Table 2* further shows that parsimonious (3.7%) of the respondents used research collaboration with other SMEs to improve IOKS to a very great extent, 24.6% used it to a great extent, 25.1% used it to some extent, 31.0% used it to a low extent, and 15.5% used it to no extent. This suggests that most of the respondents (71.6%) did not use research collaboration with other SMEs to enhance IOKS to either a great or very great extent. Similarly, over two-thirds (67.4%) of the respondents did not organize workshops to enhance IOKS to either a great or very great extent.

Table 3 shows that two-thirds (65.2%) of the respondents either disagreed or strongly disagreed that they adopt social media to share knowledge with other SMEs. Meanwhile, more (20.9%) respondents were neutral compared to those that either agreed or strongly agreed (13.9%) that they adopt social media to share knowledge with other SMEs. *Table 3* shows that more than a quarter (39.0%) of the respondents agreed or strongly agreed that they use extranet in IOKS with other SMEs, while a quarter was neutral on whether they used

Table 2.

IOKS practices among SMEs

Items	VGE		GE		SE		LE		NE	
	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%
Discussions with other SMEs	12	6.4	51	27.3	55	29.4	43	23.0	26	13.9
Training programs	14	7.5	47	25.1	46	24.6	56	29.9	24	12.8
Internship programs	16	8.6	51	27.3	52	27.8	53	28.3	15	8.0
Research collaboration	7	3.7	46	24.6	47	25.1	58	31.0	29	15.5
Workshops	9	4.8	52	27.8	59	31.6	40	21.4	27	14.4

Table 3.

ICT systems/tools used by SMEs in IOKS

Items	SA		A		N		D		SD	
	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%
Social media	9	4.8	17	9.1	39	20.9	78	41.7	44	23.5
Extranet	12	6.4	61	32.6	49	26.2	32	17.1	33	17.6
E-mail	5	2.7	27	14.4	46	24.6	65	34.8	44	23.5
Customer management systems	4	2.1	20	10.7	58	31.0	69	36.9	36	19.3
Computer conferencing	68	36.4	88	47.1	8	4.3	21	11.2	2	1.1

extranet in IOKS with other SMEs. The *Table 3* also shows that more than half (58.3%) of the respondents disagreed or strongly disagreed that they used e-mail in IOKS with SMEs. It is noteworthy that about a quarter (24.6%) of the respondents were neutral and only about 17.1% either agreed or strongly agreed.

In *Table 3*, greater than half (56.2%) of the respondents disagreed or strongly disagreed that they used customer management systems to share knowledge with other SMEs. Also, it is significant to note in the table that 31.0% were neutral, while 12.8% either agreed or strongly agreed. This suggests that the customer management system is not a popular system/tool used in IOKS among SMEs. Moreover, *Table 3* demonstrates that the majority (83.5%) of the respondents agreed that computer conferencing is used as a tool for inter-organizational conferencing in IOKS with SMEs. This suggests that most organizations used computer conferencing as an IOKS system/tool. As seen in the *Table 3*, only a scanty 4.3% were neutral and 12.3% either disagreed or strongly disagreed.

Table 4 shows that the majority (79.7%) of the respondents believed that IOKS improved sales to a great or very great extent. It also demonstrates that 3.7% viewed IOKS as improving sales only to some extent, 16.0% believed it is improved to a little extent, while a

meager 0.5% believed it is improved to no extent. Also, *Table 4* shows that most (75.9%) of the respondents agreed that IOKS enhanced employee productivity. Meanwhile, some 13.9% were of the position that IOKS improved employee productivity to some extent, 9.6% believed it is to a low extent and 0.5% agreed that it was to no extent. Similarly, it was observed that 77.5% responded that IOKS increased profit, 11.2% believed it is to some extent, 9.6% believed it is to a low extent, and 1.6% believed it is to no extent.

Furthermore, *Table 4* indicates that most (69.5%) of the respondents answered that IOKS increased the asset value of an organization; 23.5% believed that it is to some extent, 5.3% answered that it is to a low extent, while 1.6% agreed that it is to no extent. *Table 4* shows that a significant majority (84.0%) of the respondents believe that inter-organizational knowledge improves an organization's equity. It can also be seen in the *Table 4* that 15.5% answered that IOKS improved equity to some extent, while only 0.5% agreed that it is to no extent. It is noteworthy that none of the respondents answered that IOKS improved equity to a low extent.

Table 5 shows that the degree of freedom is 186. The R-value is 0.598, which indicates that there is a positive but linear relationship between the extent of ICT use and IOKS. This means that the sample lies on a positive

Table 4.

SMEs growth indicators

Items	VGE		GE		SE		LE		NE	
	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%
Improvement of sales	66	35.3	83	44.4	7	3.7	30	16.0	1	0.5
Employee productivity	90	48.1	52	27.8	26	13.9	18	9.6	1	0.5
Profit increase	70	37.4	75	40.1	21	11.2	18	9.6	3	1.6
Asset increase	66	35.3	64	34.2	44	23.5	10	5.3	3	1.6
Improved equity	123	65.8	34	18.2	29	15.5	0	0.0	1	0.5

Table 5.

The relationship between ICT use and IOKS

	Sum of Squares	Mean Square	Std. Error	Df	R	R ²	Adj. R ²	F-stat	Sig.
IOKS	1175.319	1175.319	1.117	186	0.598	0.357	0.354	102.918	0.000
ICT use	2112.692	11.420	0.077						
Total	3288.011								

Predictors: (Constant), ICT Use
Dependent Variable: IOKS

slope. Also, the r -square is 0.357, showing that there is a 35.7% variation in the response variables and explaining the relationship between the extent of ICT use and IOKS. The f -statistic is 102.98 for the testing of the hypothesis. Meanwhile, the p -value is 0.000, which is less than the 0.05 level of significance. Thus, the alternate hypothesis will be accepted. This means that the extent of ICT use has a statistically significant, positive effect on IOKS.

The hypothesis on IOKS has a statistically significant, positive effect on SMEs growth, as shown in Table 6, indicating that the degree of freedom is 186. The R -value is -0.009 can also be seen in the Table 6, indicating that there is a negative linear association between IOKS and SMEs growth. This indicates that the sample lies on a negative slope. The r -square is 0.000, which shows that there is a 0.00% variation in the response variables,

elucidating the association between the two variables. It is also shown that the f -statistic is 0.014. The p -value is 0.906, which is higher than the significance level of 0.05. Therefore, the alternate hypothesis will be dismissed. Thus, IOKS has a statistically significant, negative effect on SMEs growth.

Table 7 shows that there is a correlation of 0.386 between SMEs' growth (dependent variable) and the model. This shows a positive but weak relationship between the dependent and independent variables (social media, extranet, e-mail, customer management systems, and computer conferencing). Meanwhile, SMEs' growth accounts for 0.149 of the total variation. This indicates that the independent variables only account for 14.9% of SMEs' growth. Also, the goodness-of-fit for the model is 0.125, which implies that the model is not good.

Table 6.

The relationship between IOKS and SMEs growth

	Sum of Squares	Mean Square	Std. Error	Df	r	R ²	Adj. R ²	F-stat	Sig.
IOKS	0.145	1175.319	1.117	186	-0.009	0.000	-0.005	0.014	0.906
SMEs growth	1899.321	11.420	0.077						
Total	1899.465								

Predictors: (Constant), IOKS
Dependent Variable: SMEs Growth

Table 7.

The relationship between ICT tools and SMEs’ growth – Model summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	0.386	0.149	0.125	2.989	0.149	6.332	5	181	0.000

Predictors: (Constant), social media, extranet, e-mail, CMS, conferencing

Table 8.

ANOVA

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	282.803	5	56.561	6.332	0.000
	Residual	1616.662	181	8.932		
	Total	1899.465	186			

Predictors: (Constant), social media, extranet, e-mail, CMS, conferencing
 Dependent Variable: SMEs’ Growth

Table 8 shows that the Regression Sum of Squares is 282.8 while the Total Sum of Squares is 1899.4, which indicates that the regression model explains only 282/1899 (about 15%) of the variability in the dataset. The *f*-statistic is 6.332 and the *p*-value is 0.000, which indicates that the model fits the data better than a model without predictor variables. This suggests that the independent variables in the model improve the fit of the model. Since the *p*-value (0.000) is lower than the significance level of 0.05, the alternate hypothesis is hereby accepted. This means that ICT tools/systems are statistically significant predictors of SMEs’ growth. This, however, may be low as explained by the variability of the dataset.

Table 9 shows that an increase in the use of computer conferencing (*t* = 1.171) for IOKS would increase SMEs’ growth. Also, an increase in the use of customer management systems (*t* = 0.419) for IOKS would increase SMEs’ growth. Similarly, an increase in the use of social media (*t* = 0.150) for IOKS would increase SMEs’ growth. Unlike computer conferencing, social media, and customer management systems, both extranet and e-mail show negative coefficients. This means that an increase in the use of extranet (*t* = -0.438) for IOKS would lead to a decrease in SMEs’ growth. Lastly, an increase in the use of e-mail (*t* = -0.041) for IOKS would lead to a decrease in SMEs’ growth. In conclusion, the use of computer conferencing in IOKS is the highest predictor of SMEs’ growth while the use of an extranet in IOKS would lead to the highest decrease in SMEs’ growth.

Table 9.

Coefficients

Model		Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	15.593	1.165		13.385	0.000
	Social media	0.150	0.222	0.050	0.674	0.501
	Extranet	-0.348	0.208	-0.132	-1.673	0.096
	E-mail	-0.041	0.235	-0.014	-0.173	0.862
	CMS	0.419	0.260	0.129	1.611	0.109
	Conferencing	1.171	0.225	0.358	5.205	0.000

Dependent Variable: SMEs’ Growth

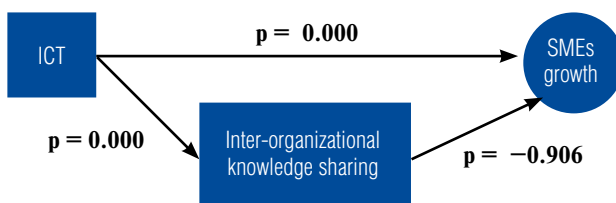


Fig. 2. Research framework showing the results of tested hypotheses.

6. Discussion

The study focuses on the impact of ICT on IOKS for SMEs growth. The conceptual model of the study shows the inter-relationships among ICT use, IOKS and SMEs growth. Findings showed that IOKS among SMEs is carried out only to some extent. It is largely unpopular among the different SMEs that were sampled in this study. It was revealed that not even half of the organizations used discussions with other SMEs, training programs, internship programs, research collaboration and workshops. The finding of this study is different from that of Tesavrita et al. [34], which showed that training, research, internship and discussion are all avenues for IOKS. While it is accepted that IOKS is relatively recent [33], evidence provided in this study shows that it has not been adopted to a great extent among SMEs. The result of the study reinforces the findings of Chong et al. [26] that IOKS among SMEs in Malaysia is unpopular and difficult to implement. Al-Jabri and Al-Busaidi [25], however, showed that some factors that determine this challenge include the nature of knowledge, senders' and recipients' characteristics, and inter-organizational dynamics.

The findings of this study showed that social media are not popular as a medium for IOKS among SMEs. Results showed that more of the respondents were neutral compared to those that agreed they used social media for IOKS. Tesavrita et al. [34] revealed that IOKS could be offline and online. This suggests why social media may not be popular and why there may be more offline mediums of IOKS. This is supported by findings from the literature that social media are an avenue for IOKS [26, 48, 49]. Also, the results of the study showed that extranet, e-mail, customer management systems and computer conferencing were among the least used for IOKS among SMEs. This differs from the findings of Al-Busaidi and Olfman [5] that the business sector used ICT tools for IOKS organizations. Castaneda and Toulson [52] revealed that video conferencing can facilitate IOKS, while e-mail does not enhance IOKS.

Results of this study showed that ICT-enabled IOKS improves sales and enhances employee productivity to a great extent. Shepherd and Wiklund [61] had this same finding. The findings also showed that IOKS increased profit to a great extent. The study results showed that IOKS increases organizational asset value to a great extent. It was also shown by Mohsam and Van Brakel [55] that IOKS among SMEs will enhance competitive advantage. The study findings revealed that the IOKS improves organizational equity to a great extent. Chong et al. [26] revealed that the influence of ICT on IOKS among business owners is unclear.

Furthermore, Cresswell et al. [56] showed that IOKS enhances organizational growth, which supports the findings of this study. Similarly, other studies [2, 57] found that IOKS not only improves learning among employees but enhances the growth of SMEs. It was found that the extent of ICT use has a statistically positive significant effect on IOKS. Also, IOKS has a statistically significant, negative effect on SMEs growth. This is dissimilar to the findings of Alashwal et al. [59] that there is a statistically significant, positive relationship between inter-organizational sharing and SMEs performance in the construction industry in Malaysia. Meanwhile, the greatest representation (35.8%) of the sampled respondents was from the construction industry.

The findings of this study showed that ICT tools are statistically significant predictors of SMEs' growth. However, the findings showed that the correlation between the model and SMEs' growth is positive but weak ($r = 0.386$). Results indicate that the independent variables improve the fit of the model, but the model explains only 15% of the variability in the dataset. The test of the hypothesis further shows that the model is not of good fit, suggesting that the model is not good. However, it was established that the model is better than a model without predictors of SMEs' growth. This suggests that the predictors improve the fit of the model, albeit minimally. Results illustrate that out of the five predictors, only computer conferencing, customer management systems and social media positively predict SMEs' growth. This buttresses previous studies' [26, 48, 49] findings that social media, customer management systems and computer conferencing have a significant effect on the performance of SMEs. Meanwhile, both extranet and e-mail are negative predictors of SMEs' growth. This has mixed findings with Castaneda and Toulson [52] that showed that video conferencing has a significant impact on the adoption of ICT among SMEs, but e-mail does not have a significant impact.

7. Conclusion and implications

This study examined the impact of ICT on IOKS for SMEs growth. It was established in the study that IOKS among SMEs takes place to some extent and that SMEs do not use avenues such as training programs, internship programs, research collaboration and workshops to share knowledge. The study also concluded that the use of ICT tools such as social media, extranet, e-mail, customer management systems and computer conferencing was not common for IOKS among SMEs. The study established that ICT-enabled, IOKS enhances sales, productivity, profit, organizational asset value and equity to a great extent. The first alternate hypothesis tested was accepted, as it was concluded that ICT use has a statistically significant, positive impact on IOKS. The second alternate hypothesis was rejected, and it was thus established that IOKS has a statistically significant, negative effect on SMEs growth. The third alternate hypothesis is accepted, which shows that ICT tools-enabled IOKS are statistically significant predictors of SMEs' growth. Moreover, it was shown that using social media, computer conferencing and customer management systems for IOKS would improve SMEs' growth. However, the use of e-mail and extranet in IOKS would lead to a decrease in SMEs' growth. Based on the study's conclusions, the following recommendations were proffered:

1. SMEs should ensure they use the avenue of training programs, internship programs, research collaboration and workshops to share knowledge among themselves.
2. There should be an increase in the use of ICT tools/systems to enhance IOKS among SMEs.
3. Future studies may consider examining the same research area using a qualitative research approach to have a detailed understanding of how IOKS enhances SMEs' growth.

The theoretical implication of the findings is that ICT can be used to facilitate IOKS among SMEs. Moreover, ICT tools enhanced IOKS and SMEs' growth. It has been further established that IOKS among SMEs has a statistically negative effect on SMEs growth. This means that theoretical models should consider that ICT has a significant effect on IOKS among SMEs. In practice, the study showed that SMEs owners and employees should endeavor to leverage the opportunity of sharing knowledge with other SMEs using avenues such as training programs, internship programs, research collaboration and workshops. Based on the findings, it is suggested that SMEs owners should consider using social media, computer conferencing and customer management systems in order to enhance their business expansion and growth. The findings of the study also added to the theory that the use of ICT tools/systems enhances IOKS among SMEs. Moreover, the Ministry of Commerce (KSA) should endeavor to provide enabling policies to enhance ICT-enabled IOKS among SMEs. ■

References

1. Adeyemi I.O., Uzamot W.O., Temim F.M. (2022) Knowledge transfer and use as predictors of law firm performance: Nigerian lawyers' perspectives. *International Journal of Knowledge Management*, vol. 18, no. 1, pp. 1–17. <https://doi.org/10.4018/IJKM.291097>
2. Hinder S., Cresswell K., Sheikh A., et al. (2021) Promoting inter-organizational knowledge sharing: A qualitative evaluation of England's Global Digital Exemplar and Fast Follower Programme. *PLoS One*, vol. 16, no. 8, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255220>
3. Rathi D., Given L.M., Forcier E. (2014) Interorganizational partnerships and knowledge sharing: The perspective of non-profit organizations (NPOs). *Journal of Knowledge Management*, vol. 18, no. 5, pp. 867–885. <https://doi.org/10.1108/JKM-06-2014-0256>
4. Al-Busaidi K.A. (2015) Inter-organizational knowledge sharing system in the health sector: Physicians' perspective. *International Journal of Knowledge Management*, vol. 11, no. 3, pp. 37–54. <https://doi.org/10.4018/IJKM.2015070103>
5. Al-Busaidi K.A., Olfman L. (2017) Knowledge sharing through inter-organizational knowledge sharing systems. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, vol. 47, no. 1, pp. 1–39. <https://doi.org/10.1108/VJIKMS-05-2016-0019>
6. Lin F.J., Ho C.W. (2019) The knowledge of entry mode decision for small and medium enterprises. *Journal of Innovation & Knowledge*, vol. 4, no. 1, pp. 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2018.02.001>
7. Muller E. (2012) *Innovation interactions between knowledge-intensive business services and small and medium-sized enterprises: an analysis in terms of evolution, knowledge and territories* (Vol. 11). Springer Science & Business Media.
8. Cravo T.A., Gourlay A., Becker B. (2012) SMEs and regional economic growth in Brazil. *Small Business Economics*, vol. 38, no. 2, pp. 217–230. <https://doi.org/10.1007/s11187-010-9261-z>
9. Mohajan H.K. (2016) Knowledge is an essential element at present world. *International Journal of Publication and Social Studies*, vol. 1, no. 1, pp. 31–53. <https://doi.org/10.18488/journal.135/2016.1.1/135.1.31.53>
10. Huda M., Yusuf J.B., Azmi Jasmi K., Nasir Zakaria G. (2016) Al-Zarnūjī's concept of knowledge ('Ilm). *SAGE Open*, vol. 6, no. 3, pp. 1–13. <https://doi.org/10.1177/2158244016666885>

11. Nonaka I. (1994) A dynamic theory of organizational knowledge creation. *Organization Science*, vol. 5, no. 1, pp. 14–37. <https://doi.org/10.1287/orsc.5.1.14>
12. Nonaka I., Byosiere P., Borucki C.C., Konno N. (1994) Organizational knowledge creation theory: a first comprehensive test. *International Business Review*, vol. 3, no. 4, pp. 337–351. [https://doi.org/10.1016/0969-5931\(94\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0969-5931(94)90027-2)
13. Farnese M.L., Barbieri B., Chirumbolo A., Patriotta G. (2019) Managing knowledge in organizations: A Nonaka's SECI model operationalization. *Frontiers in Psychology*, vol. 10, Article 2730. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02730>
14. Stern M.J., Briske D.D., Meadow A.M. (2021) Opening learning spaces to create actionable knowledge for conservation. *Conservation Science and Practice*, vol. 3, no. 5, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1111/csp2.378>
15. Doronin D., Lei S., Shah S.H.H. (2020) Reconsidering concept of knowledge sharing: search for quality dimensions. *Kybernetes*, vol. 50, no. 5, pp. 1058–1074. <https://doi.org/10.1108/K-11-2019-0767>
16. Teixeira E.K., Oliveira M., Curado C.M.M. (2019) Pursuing innovation through knowledge sharing: Brazil and Portugal. *International Journal of Knowledge Management*, vol. 15, no. 1, pp. 69–84. <https://doi.org/10.4018/IJKM.2019010105>
17. Loebbecke C., van Fenema P.C., Powell P. (2016) Managing inter-organisational knowledge sharing. *Journal of Strategic Information Systems*, vol. 25, no. 1, pp. 4–14.
18. Jasimuddin S., Connell N., Klein J. (2012) Knowledge transfer frameworks: An extension incorporating knowledge repositories and knowledge administration. *Information Systems Journal*, vol. 22, no. 3, pp. 195–209.
19. Yang J.T. (2015) Effect of internal marketing on knowledge sharing and organisational effectiveness in the hotel industry. *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 26, nos. 1–2, pp. 76–92. <https://doi.org/10.1080/14783363.2012.661131>
20. Arora A., Arora A.S., Sivakumar K. (2016) Relationships among supply chain strategies, organizational performance, and technological and market turbulences. *International Journal of Logistics Management*, vol. 27, no. 1, pp. 206–232. <https://doi.org/10.1108/IJLM-09-2013-0103>
21. Edwards M., Hulme D. (2014) *Non-governmental organisations-performance and accountability: Beyond the magic bullet*. Routledge.
22. Valkokari K., Paasi J., Rantala T. (2012) Managing knowledge within networked innovation. *Knowledge Management Research & Practice*, vol. 10, no. 1, pp. 27–40. <https://doi.org/10.1057/kmnp.2011.39>
23. Audretsch D.B., Belitski M. (2021) Knowledge complexity and firm performance: Evidence from the European SMEs. *Journal of Knowledge Management*, vol. 25, no. 4, pp. 693–713. <https://doi.org/10.1108/JKM-03-2020-0178>
24. Oyebiyi O.G. (2019) Use of information and communication technology by small and medium enterprises in Ogun State, Nigeria. *Journal of Economics, Management, and Trade*, vol. 23, no. 4, pp. 1–20. <https://doi.org/10.9734/jemt/2019/v23i430137>
25. Al-Jabri H., Al-Busaidi K.A. (2018) Inter-organizational knowledge transfer in Omani SMEs: Influencing factors. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, vol. 48, no. 3, pp. 333–351. <https://doi.org/10.1108/VJIKMS-10-2017-0069>
26. Chong C.W., Chong S.C., Gan G.C. (2011) Inter-organizational knowledge transfer needs among small and medium enterprises. *Library Review*, vol. 60, no. 1, pp. 37–52. <https://doi.org/10.1108/00242531111100568>
27. Cerchione R., Esposito E. (2017) Using knowledge management systems: A taxonomy of SME strategies. *International Journal of Information Management*, vol. 37, no. 1, pp. 1551–1562. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.10.007>
28. Scuotto V., Santoro G., Bresciani S., Del Giudice M. (2017) Shifting intra- and inter-organizational innovation processes towards digital business: An empirical analysis of SMEs. *Creativity and Innovation Management*, vol. 26, no. 3, pp. 247–255. <https://doi.org/10.1111/caim.12221>
29. Soto-Acosta P., Del Giudice M., Scuotto V. (2018) Emerging issues on business innovation ecosystems: the role of information and communication technologies (ICTs) for knowledge management (KM) and innovation within and among enterprises. *Baltic Journal of Management*, vol. 13, no. 3, pp. 298–302. <https://doi.org/10.1108/BJM-07-2018-398>
30. Van Der Meer R., Torlina L., Mustard J. (2013) Inter-organisational knowledge sharing in regional sustainable development communities. *International Journal of Technology Management*, vol. 12, nos. 3/4, pp. 252–272.
31. Amoozad Mahdiraji H., Beheshti M., Jafari-Sadeghi V., Garcia-Perez A. (2022) What drives inter-organisational knowledge management? The cause and effect analysis using a multi-layer multi-criteria decision-making framework. *Journal of Knowledge Management*, vol. 26, no. 9, pp. 2195–2221. <https://doi.org/10.1108/JKM-05-2021-0394>
32. Poorkavoos M. (2013) *Impacts of inter-organisational knowledge transfer networks on different types of innovations in SMEs (PhD Thesis)*. Luton: University of Bedfordshire.
33. Marchiori D., Franco M. (2020) Knowledge transfer in the context of inter-organizational networks: Foundations and intellectual structures. *Journal of Innovation & Knowledge*, vol. 5, no. 2, pp. 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2019.02.001>
34. Tesavrita C., Suryadi K., Wiratmadja I.I., Govindaraju R. (2017) Intra-organizational and inter-organizational knowledge sharing in collaborative learning process: A conceptual framework for SME. In *2017 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), Nagoya, Japan*, pp. 187–191. <https://doi.org/10.1109/IEA.2017.7939204>
35. Ibidunni A.S., Kolawole A.I., Olokundun M.A., Ogbari M.E. (2020) Knowledge transfer and innovation performance of small and medium enterprises (SMEs): An informal economy analysis. *Heliyon*, vol. 6, no. 8, Article e04740. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04740>
36. Gaur A.S., Mukherjee D., Gaur S.S., Schmid F. (2011) Environmental and firm level influences on inter-organizational trust and SME performance. *Journal of Management Studies*, vol. 48, no. 8, pp. 1752–1781. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2011.01011.x>

37. Li Y., Wu F., Zong W., Li B. (2017) Supply chain collaboration for ERP implementation: An inter-organizational knowledge sharing perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 37, no. 10, pp. 1327–1347. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2015-0732>
38. Guedda C. (2018) Managing inter-organizational knowledge sharing: A multilevel analysis. In *European Conference on Knowledge Management* (pp. 1193–1199). Academic Conferences International Limited.
39. Cheng J.H., Fu Y.C. (2013) Inter-organizational relationships and knowledge sharing through the relationship and institutional orientations in supply chains. *International Journal of Information Management*, vol. 33, no. 3, pp. 473–484. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2013.01.002>
40. Cheng J.H. (2011) Inter-organizational relationships and knowledge sharing in green supply chains – Moderating by relational benefits and guanxi. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 47, no. 6, pp. 837–849. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.12.008>
41. Oliveira M., Curado C., Balle A.R., Kianto A. (2020) Knowledge sharing, intellectual capital and organizational results in SMEs: Are they related? *Journal of Intellectual Capital*, vol. 21, no. 6, pp. 893–911. <https://doi.org/10.1108/JIC-04-2019-0077>
42. Ab Wahab N.Y., Mohamad M., Yusuff, Y.Z., Musa R. (2020) The importance of ICT adoption in manufacturing sector: An empirical evidence on SME business performance. *International Journal of Supply Chain Management*, vol. 9, no. 2, pp. 268–272.
43. Tarutė A., Gatautis R. (2014) ICT impact on SMEs performance. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, vol. 110, no. 24, pp. 1218–1225. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.968>
44. Zeraati H., Rajabion L., Molavi H., Navimipour N.J. (2019) A model for examining the effect of knowledge sharing and new IT-based technologies on the success of the supply chain management systems. *Kybernetes*, vol. 49, no. 2, pp. 291–251. <https://doi.org/10.1108/K-06-2018-0280>
45. Zhu Y., Zamani E.D., Martins J.T., Vasconcelos A.C. (2021) ICT-based inter-organizational knowledge exchange: A narrative literature review approach. In *Conference on e-Business, e-Services and e-Society* (pp. 411–422). Springer, Cham.
46. Li D., Fast-Berglund A., Paulin D. (2019) Current and future Industry 4.0 capabilities for information and knowledge sharing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 105, no. 9, pp. 3951–3963. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03942-5>
47. Al-Busaidi K.A. (2014) Knowledge workers' perceptions of potential benefits and challenges of inter-organizational knowledge sharing systems: A Delphi study in the health sector. *Knowledge Management Research & Practice*, vol. 12, pp. 398–408. <https://doi.org/10.1057/kmrp.2013.4>
48. Altarkait M. (2019) *The effect of social media use on inter-organizational relationships in Kuwait SMEs* (PhD Thesis). University of Leeds, Leeds.
49. Pérez-González D., Trigueros-Preciado S., Popa S. (2017) Social media technologies' use for the competitive information and knowledge sharing, and its effects on industrial SMEs' innovation. *Information Systems Management*, vol. 34, no. 3, pp. 291–301. <https://doi.org/10.1080/10580530.2017.1330007>
50. Soto-Acosta P., Colomo-Palacios R., Popa S. (2014) Web knowledge sharing and its effect on innovation: An empirical investigation in SMEs. *Knowledge Management Research & Practice*, vol. 12, no. 1, pp. 103–113. <https://doi.org/10.1057/kmrp.2013.31>
51. Yao J., Crupi A., Di Minin A., Zhang X. (2020) Knowledge sharing and technological innovation capabilities of Chinese software SMEs. *Journal of Knowledge Management*, vol. 24, no. 3, pp. 607–634. <https://doi.org/10.1108/JKM-08-2019-0445>
52. Castaneda D.I., Toulson P. (2021) Is it possible to share tacit knowledge using information and communication technology tools? *Global Knowledge, Memory and Communication*, vol. 70, nos. 8/9, pp. 673–683. <https://doi.org/10.1108/GKMC-07-2020-0102>
53. Burnett S. (2012) Explicit to tacit: The role of explicit knowledge in technological innovation. *Libri*, vol. 62, no. 2, pp. 145–156. <https://doi.org/10.1515/libri-2012-0011>
54. Ahokangas P., Haapanen L., Golgeci I., Arslan A., Khan Z., Kontkanen M. (2021) Knowledge sharing dynamics in international subcontracting arrangements: The case of Finnish high-tech SMEs. *Journal of International Management*, vol. 28, no. 1, Article 10088. <https://doi.org/10.1016/j.intman.2021.100888>
55. Mohsam F., Van Brakel P.A. (2011) Information and knowledge sharing trends of small and medium-sized enterprises in the Western Cape, South Africa. *South African Journal of Information Management*, vol. 13, no. 1, Article 462. <https://doi.org/10.4102/sajim.v13i1.462>
56. Cresswell K., Sheikh A., Dean Franklin B., et al. (2021) Inter-organizational knowledge sharing to establish digital health learning ecosystems: Qualitative evaluation of a national digital health transformation programme in England. *Journal of Medical Internet Research*, vol. 23, no. 8, Article e23372. <https://doi.org/10.2196/23372>
57. Al-Jabri H., Al-Busaidi K.A. (2020) Enriching SME learning innovation through inter-organizational knowledge transfer. *International Journal of Knowledge Management*, vol. 16, no. 3, pp. 1–16. <https://doi.org/10.4018/IJKM.2020070102>
58. Rivera A.E., Rodríguez-Aceves L., Mojarro-Duran B.I. (2021) Enabling knowledge sharing through psychological safety in inter-organizational arrangements. *Journal of Knowledge Management*, vol. 25, no. 5, pp. 1170–1193. <https://doi.org/10.1108/JKM-04-2020-0241>
59. Alashwal A.M., Low W.W., Kamis N.A.M. (2019) Effect of inter-organizational learning on construction on SMEs performance. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 495, no. 1, pp. 1–22.
60. Hsieh K.N.N. (2015) Inter-organizational knowledge transfer mechanisms in Taiwanese SMEs. In *Managing Intellectual Capital and Innovation for Sustainable and Inclusive Society: Managing Intellectual Capital and Innovation; Proceedings of the MakeLearn and TIIM Joint International Conference 2015* (pp. 579–580). ToKnowPress.

61. Shepherd D., Wiklund J. (2009) Are we comparing apples with apples or apples with oranges? Appropriateness of knowledge accumulation across growth studies. *Entrepreneurship Theory and Practice*, vol. 33, no. 1, pp. 105–123. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6520.2008.00282.x>
62. Gaviria-Marin M., Matute-Vallejo J., Baier-Fuentes H. (2021) The effect of ICT and higher-order capabilities on the performance of Ibero-American SMEs. *Computational and Mathematical Organization Theory*, vol. 27, no. 4, pp. 414–450. <https://doi.org/10.1007/s10588-021-09333-0>
63. Ceci F., Lazoi M., Lezzi M., Mohammad H. (2021) Fostering knowledge sharing in the innovation process: Information and communication technology-based versus face-to-face relationships. *Knowledge and Process Management*, vol. 28, no. 3, pp. 302–316. <https://doi.org/10.1002/kpm.1668>
64. Ammirato S., Felicetti A.M., Della Gala M., Aramo-Immonen H., Jussila J.J., Kärkkäinen H. (2019) The use of social media for knowledge acquisition and dissemination in B2B companies: an empirical study of Finnish technology industries. *Knowledge Management Research & Practice*, vol. 17, no. 1, pp. 52–69. <https://doi.org/10.1080/14778238.2018.1541779>
65. Byosiere P., Luethge D.J., Vas A., Paz Salmador M. (2010) Diffusion of organisational innovation: knowledge transfer through social networks. *International Journal of Technology Management*, vol. 49, no. 4, pp. 401–420. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2010.030166>
66. Remneland-Wikhamn B., Knights D. (2012) Transaction cost economics and open innovation: Implications for theory and practice. *Creativity and Innovation Management*, vol. 21, no. 3, pp. 277–289. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8691.2012.00639.x>
67. Chesbrough H. (2006) *Open business models: How to thrive in the new innovation landscape*. Cambridge: Harvard Business School Publishing.
68. Vanhaverbeke W., Cloudt M. (2014) Theories of the firm and open innovation. In *New Frontiers in Open Innovation* (pp.256-278). Chapter 14. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199682461.003.0014>
69. Santoro G., Ferraris A., Giacosa E., Giovando G. (2018) How SMEs engage in open innovation: A survey. *Journal of the Knowledge Economy*, vol. 9, no. 2, pp. 561–574. <https://doi.org/10.1007/s13132-015-0350-8>
70. Della Peruta M.R., Campanella F., Del Giudice M. (2014) Knowledge sharing and exchange of information within bank and firm networks: The role of the intangibles on the access to credit. *Journal of Knowledge Management*, vol. 18, no. 5, pp. 1036–1051. <https://doi.org/10.1108/JKM-06-2014-0255>
71. Gassmann O., Enkel E. (2004) Towards a theory of open innovation: Three core process archetypes. *R&D Management Conference (RADMA) 2004*. Lissabon. Available at: <https://www.alexandria.unisg.ch/274/> (accessed 15 March 2023).
72. Eseryel U.Y. (2014) IT-enabled knowledge creation for open innovation. *Journal of Association for Information Systems*, vol. 15, no. 11. <https://doi.org/10.17705/1jais.00378>
73. Lichtenthaler U. (2008) Open innovation in practice: An analysis of strategic approaches to technology transactions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 55, no. 1, pp. 148–157. <https://doi.org/10.1109/TEM.2007.912932>
74. Van de Vrande V., De Jong J.P., Vanhaverbeke W., De Rochemont M. (2009) Open innovation in SMEs: Trends, motives and management challenges. *Technovation*, vol. 29, nos. 6–7, pp. 423–437. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2008.10.001>
75. Abulrub A.H., Lee J. (2012) Open innovation management: Challenges and prospects. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 41, pp. 130–138.
76. Howells J., Ramlogan R., Cheng S.L. (2012) Universities in an open innovation system: A UK perspective. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, vol. 18, no. 4, pp. 440–456. <https://doi.org/10.1108/13552551211239483>
77. Subrahmanya M.H., Mathirajan M., Krishnaswamy K.N. (2010) Importance of technological innovation for SME growth: Evidence from India. *MERIT Working Papers 2010-007, United Nations University – Maastricht Economic and Social Research Institute on Innovation and Technology (MERIT)*.
78. Hanadi A.L., Aruna M. (2013) Technology innovation for SME growth: A perception for the emerging economies. *Journal of Economics and Sustainable Development*, vol. 4, no. 3.
79. Rahman N.A., Yaacob Z., Radzi R.M. (2016) An overview of technological innovation on SME survival: A conceptual paper. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, vol. 224, pp. 508–515. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.427>
80. Diaconu M. (2011) Technological innovation: Concept, process, typology and implications in the economy. *Theoretical and Applied Economics*, vol. 18, no. 10, pp. 127–144.
81. Love J.H., Roper S. (2015) SME innovation, exporting and growth: A review of existing evidence. *International Small Business Journal*, vol. 33, no. 1, pp. 28–48. <https://doi.org/10.1177/0266242614550190>
82. Nassaji H. (2015) Qualitative and descriptive research: Data type versus data analysis. *Language Teaching Research*, vol. 19, no. 2, pp. 129–132. <https://doi.org/10.1177/1362168815572747>
83. Nardi P.M. (2018) *Doing survey research: A guide to quantitative methods*. New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315172231>
84. Mubasher S.W. (2021) *Saudi SMEs' contribution to GDP accelerates 45% in 5 years*. Zawya. Available at: <https://www.zawya.com/en/business/saudi-smes-contribution-to-gdp-accelerates-45-in-5-years-e04ansei> (accessed 15 March 2023).
85. Acharya A.S., Prakash A., Saxena P., Nigam A. (2013) Sampling: Why and how of it. *Indian Journal of Medical Specialties*, vol. 4, no. 2, pp. 330–333.
86. Adeyemi I.O., Omopupa K.T. (2020) Moving from OPAC to discovery systems: Nigerian librarians' perceived knowledge and readiness. *Cataloging & Classification Quarterly*, vol. 58, no. 2, pp. 149–168. <https://doi.org/10.1080/01639374.2020.1715520>
87. Fryrear A. (2015) What is a good survey response rate? *Survey Gizmo*. Available at: <https://www.surveygizmo.com/resources/blog/survey-response-rates/> (accessed 15 March 2023).

About the author

Naief G. Azyabi

Ph.D.;

Associate Professor, Department of Management Information Systems, College of Business Administration, Jazan University, Jazan 45142, Saudi Arabia;

E-mail: nazyabi@jazanu.edu.sa

ORCID: 0000-0003-0798-8114

Влияние информационно-коммуникационных технологий на межорганизационный обмен знаниями для роста предприятий малого и среднего бизнеса

Найеф Г. Азяби

E-mail: nazyabi@jazanu.edu.sa

Jazan University

Адрес: Prince Mohamed Street, Jazan 45142, Saudi Arabia

Аннотация

Как известно, информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) постоянно внедряются в сфере управления знаниями. Данное исследование нацелено на изучение влияния ИКТ на межорганизационный обмен знаниями, а также его последующего влияния на рост малых и средних предприятий (МСП). В исследовании применяется описательный дизайн опроса с использованием количественного исследовательского подхода. На основе простого метода случайной выборки использован веб-опросник для сбора данных от 187 респондентов. Результаты показали, что межорганизационный обмен знаниями между МСП осуществляется в незначительной степени и не является распространенной практикой. Результаты показали, что лишь менее половины МСП использовали учебные программы, программы стажировок, исследовательское сотрудничество и семинары для межорганизационного обмена знаниями. Исследование также показало, что межорганизационный обмен знаниями способствует увеличению объема продаж и повышению производительности, а также положительно влияет на прибыль, активы и собственный капитал организации. Представлены доказательства того, как системы и инструменты ИКТ используются для межорганизационного обмена знаниями, и каково их влияние на рост предприятий малого и среднего бизнеса.

Ключевые слова: межорганизационный обмен знаниями, предприятия малого и среднего бизнеса, информационно-коммуникационные технологии

Цитирование: Azyabi N.G. The impact of ICT on inter-organizational knowledge sharing for SMEs growth // Business Informatics. 2023. Vol. 17. No. 1. P. 66–85. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1. 66.85

Литература

1. Adeyemi I.O., Uzamot W.O., Temim F.M. Knowledge transfer and use as predictors of law firm performance: Nigerian lawyers' perspectives // *International Journal of Knowledge Management*. 2022. Vol. 18. No. 1. P. 1–17. <https://doi.org/10.4018/IJKM.291097>
2. Hinder S., Cresswell K., Sheikh A., et al. Promoting inter-organizational knowledge sharing: A qualitative evaluation of England's Global Digital Exemplar and Fast Follower Programme // *PLoS One*. 2021. Vol. 16. No. 8. P. 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255220>
3. Rathi D., Given L.M., Forcier E. Interorganizational partnerships and knowledge sharing: The perspective of non-profit organizations (NPOs) // *Journal of Knowledge Management*. 2014. Vol. 18. No. 5. P. 867–885. <https://doi.org/10.1108/JKM-06-2014-0256>
4. Al-Busaidi K.A. Inter-organizational knowledge sharing system in the health sector: Physicians' perspective // *International Journal of Knowledge Management*. 2015. Vol. 11. No. 3. P. 37–54. <https://doi.org/10.4018/IJKM.2015070103>
5. Al-Busaidi K.A., Olfman L. Knowledge sharing through inter-organizational knowledge sharing systems // *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*. 2017. Vol. 47. No. 1. P. 1–39. <https://doi.org/10.1108/VJKMS-05-2016-0019>
6. Lin F.J., Ho C.W. The knowledge of entry mode decision for small and medium enterprises // *Journal of Innovation & Knowledge*. 2019. Vol. 4. No. 1. P. 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2018.02.001>
7. Muller E. Innovation interactions between knowledge-intensive business services and small and medium-sized enterprises: an analysis in terms of evolution, knowledge and territories (Vol. 11). Springer Science & Business Media, 2012.
8. Cravo T.A., Gourlay A., Becker B. SMEs and regional economic growth in Brazil // *Small Business Economics*. 2012. Vol. 38. No. 2. P. 217–230. <https://doi.org/10.1007/s11187-010-9261-z>
9. Mohajan H.K. Knowledge is an essential element at present world // *International Journal of Publication and Social Studies*. 2016. Vol. 1. No. 1. P. 31–53. <https://doi.org/10.18488/journal.135/2016.1.1/135.1.31.53>
10. Huda M., Yusuf J.B., Azmi Jasmi K., Nasir Zakaria G. Al-Zarnūjī's concept of knowledge ('Ilm) // *SAGE Open*. 2016. Vol. 6. No. 3. P. 1–13. <https://doi.org/10.1177/2158244016666885>
11. Nonaka I. A dynamic theory of organizational knowledge creation // *Organization Science*. 1994. Vol. 5. No. 1. P. 14–37. <https://doi.org/10.1287/orsc.5.1.14>
12. Nonaka I., Byosiére P., Borucki C.C., Konno N. Organizational knowledge creation theory: a first comprehensive test // *International Business Review*. 1994. Vol. 3. No. 4. P. 337–351. [https://doi.org/10.1016/0969-5931\(94\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0969-5931(94)90027-2)
13. Farnese M.L., Barbieri B., Chirumbolo A., Patriotta G. Managing knowledge in organizations: A Nonaka's SECI model operationalization // *Frontiers in Psychology*. 2019. Vol. 10. Article 2730. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02730>
14. Stern M.J., Briske D.D., Meadow A.M. Opening learning spaces to create actionable knowledge for conservation // *Conservation Science and Practice*. 2021. Vol. 3. No. 5. P. 1–12. <https://doi.org/10.1111/csp2.378>
15. Doronin D., Lei S., Shah S.H.H. Reconsidering concept of knowledge sharing: search for quality dimensions // *Kybernetes*. 2020. Vol. 50. No. 5. P. 1058–1074. <https://doi.org/10.1108/K-11-2019-0767>
16. Teixeira E.K., Oliveira M., Curado C.M.M. Pursuing innovation through knowledge sharing: Brazil and Portugal // *International Journal of Knowledge Management*. 2019. Vol. 15. No. 1. P. 69–84. <https://doi.org/10.4018/IJKM.2019010105>
17. Loebbecke C., van Fenema P.C., Powell P. Managing inter-organisational knowledge sharing // *Journal of Strategic Information Systems*. 2016. Vol. 25. No. 1. P. 4–14.
18. Jasimuddin S., Connell N., Klein J. Knowledge transfer frameworks: An extension incorporating knowledge repositories and knowledge administration // *Information Systems Journal*. 2012. Vol. 22. No. 3. P. 195–209.
19. Yang J.T. Effect of internal marketing on knowledge sharing and organisational effectiveness in the hotel industry // *Total Quality Management & Business Excellence*. 2015. Vol. 26. Nos. 1–2. P. 76–92. <https://doi.org/10.1080/14783363.2012.661131>
20. Arora A., Arora A.S., Sivakumar K. Relationships among supply chain strategies, organizational performance, and technological and market turbulences // *International Journal of Logistics Management*. 2016. Vol. 27. No. 1. P. 206–232. <https://doi.org/10.1108/IJLM-09-2013-0103>
21. Edwards M., Hulme D. Non-governmental organisations-performance and accountability: Beyond the magic bullet. Routledge, 2014.
22. Valkokari K., Paasi J., Rantala T. Managing knowledge within networked innovation // *Knowledge Management Research & Practice*. 2012. Vol. 10. No. 1. P. 27–40. <https://doi.org/10.1057/kmrp.2011.39>
23. Audretsch D.B., Belitski M. Knowledge complexity and firm performance: Evidence from the European SMEs // *Journal of Knowledge Management*. 2021. Vol. 25. No. 4. P. 693–713. <https://doi.org/10.1108/JKM-03-2020-0178>
24. Oyebiyi O.G. Use of information and communication technology by small and medium enterprises in Ogun State, Nigeria // *Journal of Economics, Management, and Trade*. 2019. Vol. 23. No. 4. P. 1–20. <https://doi.org/10.9734/jemt/2019/v23i430137>
25. Al-Jabri H., Al-Busaidi K.A. Inter-organizational knowledge transfer in Omani SMEs: Influencing factors // *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*. 2018. Vol. 48. No. 3. P. 333–351. <https://doi.org/10.1108/VJKMS-10-2017-0069>

26. Chong C.W., Chong S.C., Gan G.C. Inter-organizational knowledge transfer needs among small and medium enterprises // *Library Review*. 2011. Vol. 60. No. 1. P. 37–52. <https://doi.org/10.1108/00242531111100568>
27. Cerchione R., Esposito E. Using knowledge management systems: A taxonomy of SME strategies // *International Journal of Information Management*. 2017. Vol. 37. No. 1. P. 1551–1562. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.10.007>
28. Scuotto V., Santoro G., Bresciani S., Del Giudice M. Shifting intra- and inter-organizational innovation processes towards digital business: An empirical analysis of SMEs // *Creativity and Innovation Management*. 2017. Vol. 26. No. 3. P. 247–255. <https://doi.org/10.1111/caim.12221>
29. Soto-Acosta P., Del Giudice M., Scuotto V. Emerging issues on business innovation ecosystems: the role of information and communication technologies (ICTs) for knowledge management (KM) and innovation within and among enterprises // *Baltic Journal of Management*. 2018. Vol. 13. No. 3. P. 298–302. <https://doi.org/10.1108/BJM-07-2018-398>
30. Van Der Meer R., Torlina L., Mustard J. Inter-organisational knowledge sharing in regional sustainable development communities // *International Journal of Technology Management*. 2013. Vol. 12. Nos. 3/4. P. 252–272.
31. Amoozad Mahdiraji H., Beheshti M., Jafari-Sadeghi V., Garcia-Perez A. What drives inter-organisational knowledge management? The cause and effect analysis using a multi-layer multi-criteria decision-making framework // *Journal of Knowledge Management*. 2022. Vol. 26. No. 9. P. 2195–2221. <https://doi.org/10.1108/JKM-05-2021-0394>
32. Poorkavoos M. Impacts of inter-organisational knowledge transfer networks on different types of innovations in SMEs (PhD Thesis). Luton: University of Bedfordshire, 2013.
33. Marchiori D., Franco M. Knowledge transfer in the context of inter-organizational networks: Foundations and intellectual structures // *Journal of Innovation & Knowledge*. 2020. Vol. 5. No. 2. P. 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2019.02.001>
34. Tesavrita C., Suryadi K., Wiratmadja I.I., Govindaraju R. Intra-organizational and inter-organizational knowledge sharing in collaborative learning process: A conceptual framework for SME // 2017 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), Nagoya, Japan, 2017. P. 187–191. <https://doi.org/10.1109/IEA.2017.7939204>
35. Ibiidunni A.S., Kolawole A.I., Olokundun M.A., Ogbari M.E. Knowledge transfer and innovation performance of small and medium enterprises (SMEs): An informal economy analysis // *Heliyon*. 2020. Vol. 6. No. 8. Article e04740. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04740>
36. Gaur A.S., Mukherjee D., Gaur S.S., Schmid F. Environmental and firm level influences on inter-organizational trust and SME performance // *Journal of Management Studies*. 2011. Vol. 48. No. 8. P. 1752–1781. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2011.01011.x>
37. Li Y., Wu F., Zong W., Li B. Supply chain collaboration for ERP implementation: An inter-organizational knowledge sharing perspective // *International Journal of Operations & Production Management*. 2017. Vol. 37. No. 10. P. 1327–1347. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2015-0732>
38. Guedda C. Managing inter-organizational knowledge sharing: A multilevel analysis // *European Conference on Knowledge Management. Academic Conferences International Limited*, 2018. P. 1193–1199.
39. Cheng J.H., Fu Y.C. Inter-organizational relationships and knowledge sharing through the relationship and institutional orientations in supply chains // *International Journal of Information Management*. 2013. Vol. 33. No. 3. P. 473–484. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2013.01.002>
40. Cheng J.H. Inter-organizational relationships and knowledge sharing in green supply chains – Moderating by relational benefits and guanxi // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2011. Vol. 47. No. 6. P. 837–849. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.12.008>
41. Oliveira M., Curado C., Balle A.R., Kianto A. Knowledge sharing, intellectual capital and organizational results in SMEs: Are they related? // *Journal of Intellectual Capital*. 2020. Vol. 21. No. 6. P. 893–911. <https://doi.org/10.1108/JIC-04-2019-0077>
42. Ab Wahab N.Y., Mohamad M., Yusuff, Y.Z., Musa R. The importance of ICT adoption in manufacturing sector: An empirical evidence on SME business performance // *International Journal of Supply Chain Management*. 2020. Vol. 9. No. 2. P. 268–272.
43. Tarutè A., Gatautis R. ICT impact on SMEs performance // *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 110. No. 24. P. 1218–1225. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.968>
44. Zeraati H., Rajabion L., Molavi H., Navimipour N.J. A model for examining the effect of knowledge sharing and new IT-based technologies on the success of the supply chain management systems // *Kybernetes*. 2019. Vol. 49. No. 2. P. 291–251. <https://doi.org/10.1108/K-06-2018-0280>
45. Zhu Y., Zamani E.D., Martins J.T., Vasconcelos A.C. ICT-based inter-organizational knowledge exchange: A narrative literature review approach // *Conference on e-Business, e-Services and e-Society*. Springer, Cham, 2021. P. 411–422.
46. Li D., Fast-Berglund A., Paulin D. Current and future Industry 4.0 capabilities for information and knowledge sharing // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019. Vol. 105. No. 9. P. 3951–3963. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03942-5>
47. Al-Busaidi K.A. (2014) Knowledge workers' perceptions of potential benefits and challenges of inter-organizational knowledge sharing systems: A Delphi study in the health sector // *Knowledge Management Research & Practice*. Vol. 12. P. 398–408. <https://doi.org/10.1057/kmrp.2013.4>

48. Altarkait M. The effect of social media use on inter-organizational relationships in Kuwait SMEs (PhD Thesis). University of Leeds, Leeds, 2019.
49. Pérez-González D., Trigueros-Preciado S., Popa S. Social media technologies' use for the competitive information and knowledge sharing, and its effects on industrial SMEs' innovation // *Information Systems Management*. 2017. Vol. 34. No. 3. P. 291–301. <https://doi.org/10.1080/10580530.2017.1330007>
50. Soto-Acosta P., Colomo-Palacios R., Popa S. Web knowledge sharing and its effect on innovation: An empirical investigation in SMEs // *Knowledge Management Research & Practice*. 2014. Vol. 12. No. 1. P. 103–113. <https://doi.org/10.1057/kmnp.2013.31>
51. Yao J., Crupi A., Di Minin A., Zhang X. Knowledge sharing and technological innovation capabilities of Chinese software SMEs // *Journal of Knowledge Management*. 2020. Vol. 24. No. 3. P. 607–634. <https://doi.org/10.1108/JKM-08-2019-0445>
52. Castaneda D.I., Toulson P. Is it possible to share tacit knowledge using information and communication technology tools? // *Global Knowledge, Memory and Communication*. 2021. Vol. 70. Nos. 8/9. P. 673–683. <https://doi.org/10.1108/GKMC-07-2020-0102>
53. Burnett S. Explicit to tacit: The role of explicit knowledge in technological innovation // *Libri*. 2012. Vol. 62. No. 2. P. 145–156. <https://doi.org/10.1515/libri-2012-0011>
54. Ahokangas P., Haapanen L., Golgeci I., Arslan A., Khan Z., Kontkanen M. Knowledge sharing dynamics in international subcontracting arrangements: The case of Finnish high-tech SMEs // *Journal of International Management*. 2021. Vol. 28. No. 1. Article 10088. <https://doi.org/10.1016/j.intman.2021.100888>
55. Mohsam F., Van Brakel P.A. Information and knowledge sharing trends of small and medium-sized enterprises in the Western Cape, South Africa // *South African Journal of Information Management*. 2011. Vol. 13. No. 1. Article 462. <https://doi.org/10.4102/sajim.v13i1.462>
56. Cresswell K., Sheikh A., Dean Franklin B., et al. Inter-organizational knowledge sharing to establish digital health learning ecosystems: Qualitative evaluation of a national digital health transformation programme in England // *Journal of Medical Internet Research*. 2021. Vol. 23. No. 8. Article e23372. <https://doi.org/10.2196/23372>
57. Al-Jabri H., Al-Busaidi K.A. Enriching SME learning innovation through inter-organizational knowledge transfer // *International Journal of Knowledge Management*. 2020. Vol. 16. No. 3. P. 1–16. <https://doi.org/10.4018/IJKM.2020070102>
58. Rivera A.E., Rodríguez-Aceves L., Mojarro-Duran B.I. Enabling knowledge sharing through psychological safety in inter-organizational arrangements // *Journal of Knowledge Management*. 2021. Vol. 25. No. 5. P. 1170–1193. <https://doi.org/10.1108/JKM-04-2020-0241>
59. Alashwal A.M., Low W.W., Kamis N.A.M. Effect of inter-organizational learning on construction on SMEs performance // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 495. No. 1. P. 1–22.
60. Hsieh K.N.N. Inter-organizational knowledge transfer mechanisms in Taiwanese SMEs // *Managing Intellectual Capital and Innovation for Sustainable and Inclusive Society: Managing Intellectual Capital and Innovation; Proceedings of the MakeLearn and THIM Joint International Conference 2015*. ToKnowPress, 2015. P. 579–580.
61. Shepherd D., Wiklund J. Are we comparing apples with apples or apples with oranges? Appropriateness of knowledge accumulation across growth studies // *Entrepreneurship Theory and Practice*. 2009. Vol. 33. No. 1. P. 105–123. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6520.2008.00282.x>
62. Gaviria-Marin M., Matute-Vallejo J., Baier-Fuentes H. The effect of ICT and higher-order capabilities on the performance of Ibero-American SMEs // *Computational and Mathematical Organization Theory*. 2021. Vol. 27. No. 4. P. 414–450. <https://doi.org/10.1007/s10588-021-09333-0>
63. Ceci F., Lazoi M., Lezzi M., Mohammad H. Fostering knowledge sharing in the innovation process: Information and communication technology-based versus face-to-face relationships // *Knowledge and Process Management*. 2021. Vol. 28. No. 3. P. 302–316. <https://doi.org/10.1002/kpm.1668>
64. Ammirato S., Felicetti A.M., Della Gala M., Aramo-Immonen H., Jussila J.J., Kärkkäinen H. The use of social media for knowledge acquisition and dissemination in B2B companies: an empirical study of Finnish technology industries // *Knowledge Management Research & Practice*. 2019. Vol. 17. No. 1. P. 52–69. <https://doi.org/10.1080/14778238.2018.1541779>
65. Byosiere P., Luethge D.J., Vas A., Paz Salmador M. Diffusion of organisational innovation: knowledge transfer through social networks // *International Journal of Technology Management*. 2010. Vol. 49. No. 4. P. 401–420. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2010.030166>
66. Remneland-Wikhamn B., Knights D. Transaction cost economics and open innovation: Implications for theory and practice // *Creativity and Innovation Management*. 2012. Vol. 21. No. 3. P. 277–289. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8691.2012.00639.x>
67. Chesbrough H. *Open business models: How to thrive in the new innovation landscape*. Cambridge: Harvard Business School Publishing, 2006.
68. Vanhaverbeke W., Cloudt M. Theories of the firm and open innovation // *New Frontiers in Open Innovation*. Chapter 14. Oxford University Press, 2014. P. 256–278. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199682461.003.0014>
69. Santoro G., Ferraris A., Giacosa E., Giovando G. How SMEs engage in open innovation: A survey // *Journal of the Knowledge Economy*. 2018. Vol. 9. No. 2. P. 561–574. <https://doi.org/10.1007/s13132-015-0350-8>
70. Della Peruta M.R., Campanella F., Del Giudice M. Knowledge sharing and exchange of information within bank and firm networks: The role of the intangibles on the access to credit // *Journal of Knowledge Management*. 2014. Vol. 18. No. 5. P. 1036–1051. <https://doi.org/10.1108/JKM-06-2014-0255>

71. Gassmann O., Enkel E. Towards a theory of open innovation: Three core process archetypes // R&D Management Conference (RADMA) 2004. Lissabon, 2004. [Электронный ресурс]: <https://www.alexandria.unisg.ch/274/> (дата обращения 15.03.2023).
72. Eseryel U.Y. IT-enabled knowledge creation for open innovation // Journal of Association for Information Systems. 2014. Vol. 15. No. 11. <https://doi.org/10.17705/1jais.00378>
73. Lichtenthaler U. Open innovation in practice: An analysis of strategic approaches to technology transactions // IEEE Transactions on Engineering Management. 2008. Vol. 55. No. 1. P. 148–157. <https://doi.org/10.1109/TEM.2007.912932>
74. Van de Vrande V., De Jong J P., Vanhaverbeke W., De Rochemont M. Open innovation in SMEs: Trends, motives and management challenges // Technovation. 2009. Vol. 29. Nos. 6–7. P. 423–437. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2008.10.001>
75. Abulrub A.H., Lee J. Open innovation management: Challenges and prospects // Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2012. Vol. 41. P. 130–138.
76. Howells J., Ramlogan R., Cheng S.L. Universities in an open innovation system: A UK perspective // International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research. 2012. Vol. 18. No. 4. P. 440–456. <https://doi.org/10.1108/13552551211239483>
77. Subrahmanya M.H., Mathirajan M., Krishnaswamy K.N. Importance of technological innovation for SME growth: Evidence from India // MERIT Working Papers 2010-007, United Nations University – Maastricht Economic and Social Research Institute on Innovation and Technology (MERIT), 2010.
78. Hanadi A.L., Aruna M. Technology innovation for SME growth: A perception for the emerging economies // Journal of Economics and Sustainable Development. 2013. Vol. 4. No. 3.
79. Rahman N.A., Yaacob Z., Radzi R.M. An overview of technological innovation on SME survival: A conceptual paper // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2016. Vol. 224. P. 508–515. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.427>
80. Diaconu M. Technological innovation: Concept, process, typology and implications in the economy // Theoretical and Applied Economics. 2011. Vol. 18. No. 10. P. 127–144.
81. Love J.H., Roper S. SME innovation, exporting and growth: A review of existing evidence // International Small Business Journal. 2015. Vol. 33. No. 1. P. 28–48. <https://doi.org/10.1177/0266242614550190>
82. Nassaji H. Qualitative and descriptive research: Data type versus data analysis // Language Teaching Research. 2015. Vol. 19. No. 2. P. 129–132. <https://doi.org/10.1177/1362168815572747>
83. Nardi P.M. Doing survey research: A guide to quantitative methods. New York: Routledge, 2018. <https://doi.org/10.4324/9781315172231>
84. Mubasher S.W. Saudi SMEs' contribution to GDP accelerates 45% in 5 years / Zawya. 2021. [Электронный ресурс]: <https://www.zawya.com/en/business/saudi-smes-contribution-to-gdp-accelerates-45-in-5-years-e04ansei> (дата обращения 15.03.2023).
85. Acharya A.S., Prakash A., Saxena P., Nigam A. Sampling: Why and how of it // Indian Journal of Medical Specialties. 2013. Vol. 4. No. 2. P. 330–333.
86. Adeyemi I.O., Omopupa K.T. Moving from OPAC to discovery systems: Nigerian librarians' perceived knowledge and readiness // Cataloging & Classification Quarterly. 2020. Vol. 58. No. 2. P. 149–168. <https://doi.org/10.1080/01639374.2020.1715520>
87. Fryrear A. What is a good survey response rate? / Survey Gizmo. 2015. [Электронный ресурс]: <https://www.surveygizmo.com/resources/blog/survey-response-rates/> (дата обращения 15.03.2023).

Об авторе

Найеф Г. Азьяби

Ph.D.;

Associate Professor, Department of Management Information Systems, College of Business Administration, Jazan University, Jazan 45142, Saudi Arabia;

E-mail: nazyabi@jazanu.edu.sa

ORCID: 0000-0003-0798-8114

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.86.100

Driving factors of changes in energy intensity: A comparison between energy exporting and importing countries

Mehdi Fallah Jelodar^a 

E-mail: Mehdi.fallah_jelodar@yahoo.com

Somaye Sadeghi^{b*} 

E-mail: Somysadeghi@yahoo.com

^a Department of Mathematics, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University
Address: 5 Km of the old road from Amol to Babol, Amol 678, Iran

^b Department of Financial Management, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University
Address: 5 Km of the old road from Amol to Babol, Amol 678, Iran

Abstract

This paper compares the driving factors of changes in energy intensity in both net energy exporting and importing countries using a DEA-Malmquist (Data Envelopment Analysis) and panel GMM (Generalized Method of Moments) methods over the period of 2000–2021. The findings show that technological progress has played a significant role in reducing of energy intensity in both groups. Moreover, we use the DEA method to decompose the Malmquist total factor productivity (*TFP*) into its components including technical change (*TC*), efficiency change (*EC*), pure efficiency change (*PEC*) and scale efficiency change (*SEC*). The results show that in energy exporting countries, the effects of each of these *TFP* components on energy intensity are negative but relatively weak, while the effects of these components on reducing energy intensity in importing countries is considerable. Specifically, the estimated coefficient of the pure efficiency component in reducing energy intensity in very remarkable, which shows the high importance of the efficiency components of *TFP* in energy management. Next, we investigate what is the main driver of technological progress in both the energy exporting and importing countries. The findings imply that in net energy exporting countries trade openness is a dominant factor to improve productivity, while in net energy importing countries, internal R&D is the dominant factor for improving technological efficiency.

* Corresponding Author

Keywords: energy intensity, DEA-Malmquist, trade liberalization, foreign direct investments, internal R&D, energy dependence countries

Citation: Fallah Jelodar M., Sadeghi S. (2023) Driving factors of changes in energy intensity: A comparison between energy exporting and importing countries. *Business Informatics*, vol. 17, no. 1, pp. 86–100. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.86.100

Introduction

The sustainability of energy and hence economic development depends crucially on the efficient use of energy [1]. Therefore, the energy intensity of a country is regarded as an important indicator of economic development. Due to the extreme importance of energy intensity reduction, numerous researchers have focused on identifying the key determinants of energy intensity and providing an improved understanding of this trend. Economic growth, technology, structural effects and international trade are widely accepted as the factors that have contributed most to the decline in energy intensity [2–5]. Many authors have agreed that technological change has a stronger impact on the energy intensity than other factors [6, 7]. Overall, the empirical results are mixed and the literature has not provided any information about whether the energy endowment could influence the driving factors of the energy intensity changes of a country. However, there is a large imbalance between not only regions but also countries with respect to the use of energy resources around the world. The evidence shows that the energy intensities of most energy exporting countries have historically been very high compared with energy importing and industrialized economies. Also, the International Energy Agency (IEA) [8, 9] has emphasized that higher endowment of energy has led to a rapid rise of energy intensity. On the other hand, the scarcity of energy resources around the world begets the emergence of a great competition for increasing energy efficiency among countries, especially energy importing countries. However, understanding the determinants (or drivers) of energy intensity in countries with energy dependence (exporting or importing) is important for economic researchers and policymakers; despite this, the studies are scarce. Therefore, this paper has compared the main driving factors of energy intensity changes between net energy exporting and importing countries using dynamic panel data during 2000–2021. In order to have a better understanding of technological progress, we employed DEA-Malmquist approach for

each country to decompose *TFP* into technical change and efficiency change. Next, we would determine the sources of technical efficiency in the selected energy exporting and importing countries; such a comparison enables us to identify the main factors that most effectively influence technical efficiency and result in declining energy intensity.

The rest of the paper is organized as follows. The first section is an overview the literature. Section two presents the research methodology and data description. In section three, we analyze the empirical results related to DEA-Malmquist and GMM regressions for both net energy importing and exporting countries. The last section includes the conclusion and recommendations.

1. Literature review

Energy intensity is an important index that plays a significant role in sustainable development. The experience of economies shows that advanced industrial economies consume less energy per unit of production than traditional economies. This is highly dependent on the economic infrastructure factors in any country. One of the main factors is economic development and technological advancement. The process of economic growth and development is accompanied by widespread structural changes in the economy, technology and lifestyle of society. These all influence the consumption behavior and productive structure of the country, resulting in changes in energy intensity [10, 11]. Some researchers confirm that the relationship between economic growth and energy intensity is an inverse *U*, so that energy consumption will increase at the beginning of the process of economic development and industrialization due to the expansion of the mother industries, infrastructures and other energy-intensive economic activities. Then, in the post-industrial phase, energy intensity decreases due to technological progress and its spillovers [12, 13]. Sun [14] confirms that the main reason of declining energy intensity in OECD countries during 1971–1998 was technological advancements. Lin and Du [15] reveal that

technological change has had a stronger impact on the energy intensity than other factors, so that contributes to declining energy intensity in China by 22.4% during 2003–2010. Huang et al [7] decomposed technical progress using DEA and found that technical change and its components (technical efficiency and pure efficiency) have significant influences on the regional energy intensity in China. By contrast, Gillingham et al. [4] claim that the reduced cost of use brought about by technological improvements may increase energy use, which can lead to higher energy intensity.

At the same time as globalization in economic issues, the degree of economic openness (trade and financial) has been another factor affecting energy intensity. Major studies have demonstrated that technical spillovers to industrializing countries from advanced economies are given a fillip by trade openness [16–19]. According to the literature, the impact of economic openness on energy intensity varies, and the final effect depends on the resultant force of scale, composition and technical effects. The scale effect suggests that along with economic opening and expanding trade, economic activities increase and thus lead to changes in energy consumption. The composition effect shows up in a change in the composition of the manufactured goods. Thus, how energy intensity is affected depends on the pattern of specialization of the economies and in other words on the type of comparative advantage. According to the composition effect, energy consumption is reduced when the economy is specialized in less energy-intensive sectors. The technique effect refers to utilizing energy-saving technologies and their spillover effects in the domestic economy [6]. The technique effect indicates that economic opening and foreign direct investment enhance the chances of imitating and learning from foreign firms and hence would encourage domestic firms to adopt technologies with higher energy efficiency. Ultimately, the competition created by economic opening reduces energy intensity in the host country [20, 21]. Adom [18, 22] indicates that energy intensity in Nigeria is significantly reduced by trade openness, and the author reports similar results for South Africa. He argues that shifts in trade patterns in favor of imports tend to decrease energy intensity, implying that the reduction in energy intensity in South Africa is the result of an increase in imports relative to exports. Rafiq, Salim, and Nielsen [23] investigate 22 developing economies' energy intensity, including Angola, Gambia, Namibia, Sudan, and Zambia, demonstrating reduced energy intensity from trade openness. Cole [24] found that trade openness and energy use can have either a positive or

a negative relationship, depending on the structure of trade; in particular, this is affected by countries being net exporters or importers of energy-intensive products. This intersection leads each country to shift resources into sectors that make the most efficient use of lucrative resources in order to decrease energy intensity.

Resource endowment is associated with the reserves of coal, oil and natural gas, exerting great influence on the selection and development of industry (or technology) and indirectly determining energy consumption. IEA [8, 9] has reported that higher endowment of energy has led to a rapid rise of energy intensity. Jiang et al [25] analyzed the China provinces' energy consumption taking into account energy-resource endowment. They indicate that provinces endowed with rich energy reserves were inclined to consume much more energy than those otherwise. Evidence also shows that in countries with greater domestic resource availability, their energy intensity is relatively high because of lower prices, fewer incentives to maximize energy efficiency and less fear of import dependency [26, 27]. Likewise, government subsidies and naturally low energy prices (due to proximity to source) in these countries impede factor productivity and reduce the incentive for investment in energy efficiency. Wing [28] indicates that eliminating energy subsidies can optimize energy consumption and thereby reduce energy intensity, especially if it follows investments in the appropriate infrastructures that increase productivity and modernize technology and equipment. Also, Samarghandi [29] explains that all OPEC countries have begun to tentatively eliminate or reduce their subsidized energy sectors, though much more must be done as these countries have to adopt energy efficient production technologies.

However, this question of what drives a decline in energy intensity in countries with energy dependence (exporting or importing) is important for economic researchers and policymakers; despite that, the studies are scarce. Samarghandi [29] investigates the roles of trade openness, technological innovation, and energy price in energy intensity in OPEC countries using panel ARDL approaches during the period 1990–2016. The findings show that trade openness plays a key role in diminishing energy intensity and demonstrates that innovation is insignificantly associated with energy intensity. Huang et al [7] investigate the driving forces of China's provincial energy intensity by using DEA-Malmquist approaches during 2000–2014. The results indicate that technological progress plays a dominant role in decreasing China's overall energy intensity. Moreover, rapid industrialization should be responsible

for China’s currently high energy intensity, while energy price hikes are conducive to reducing energy intensity. Atalla and Bean [30] investigated the drivers of energy productivity changes occurring in 39 countries during 1995–2009. They found that higher levels of income per capita and higher energy prices are associated with greater energy productivity, while a greater share of output from industry is associated with lower energy productivity levels. In particular, higher energy prices and income levels are associated with improvements in sectoral energy productivity. Rühl et al. [31] draw on evidence from the last two centuries of industrialization and analyze energy intensity over the long- and short-run. They argue that the increased specialization of the fuel mix, coupled with accelerating convergence of both the sectoral and technological composition of economies, has improved energy intensity of economic output. Fankhauser and Cornillie [32] investigate energy intensity in transition countries. Their findings show that energy prices and progress in enterprise restructuring are the two most important drivers for more efficient energy use.

2. Methodology and data description

2.1. Model specification

We use a Cobb–Douglas production function as follows:

$$Q = A K^\alpha L^\beta E^\gamma, \tag{1}$$

where Q is the output;

A is the total factor productivity (TFP);

K is the capital stock;

L is the employment;

E is the energy consumption.

Assuming constant returns to scale, production cost can be expressed as follows:

$$C(P_K; P_L; P_E; P_M; A) = A^{-1} P_K^{\beta_K} P_L^{\beta_L} P_E^{\beta_E} P_M^{\beta_M} Q, \tag{2}$$

where P_L , P_K , P_E and P_M are defined as the prices of labor, capital, energy and raw materials;

β_L , β_K , β_E and β_M represent the related price elasticity, respectively.

According to Shepard’s lemma, after making P_E -derivation, Eq. 2 can be changed to the following as:

$$E = \frac{\beta_E A^{-1} P_K^{\beta_K} P_L^{\beta_L} P_E^{\beta_E} P_M^{\beta_M} Q}{P_E}. \tag{3}$$

By setting $P_Q = P_K^{\beta_K} P_L^{\beta_L} P_E^{\beta_E} P_M^{\beta_M}$ and dividing both sides on Q , the energy intensity (EI) equation is extracted as follows:

$$EI = \frac{E}{Q} = \frac{\beta_E A^{-1} P_Q}{P_E}. \tag{4}$$

Now, by taking a logarithm on both sides, we get the energy intensity equation for country i as follows:

$$\begin{aligned} \ln(EI)_{it} &= \beta_0 + \beta_1 \ln\left(\frac{P_E}{P_Q}\right)_{it} \\ &+ \beta_2 \ln(TFP)_{it} + \beta_3 \ln(Induva)_{it} + \varepsilon_{it}. \end{aligned} \tag{5}$$

According to Huang et al. [7], the Malmquist total factor productivity (TFP), which is expressed as a Data Envelopment Analysis (DEA), measures the TFP change over time and has been proven well-suited for measuring technological progress. Hence, to capture the influence of technological progress on energy intensity exactly, we use the DEA approach and make the TFP decompose into technical progress change (TC) and comprehensive technical efficiency (EC). Therefore, we get:

$$\begin{aligned} \ln(EI)_{it} &= \beta_0 + \beta_1 \ln\left(\frac{P_E}{P_Q}\right)_{it} + \beta_2 \ln(TC)_{it} \\ &+ \beta_3 \ln(EC)_{it} + \beta_4 \ln(Induva)_{it} + \varepsilon_{it}. \end{aligned} \tag{6}$$

Moreover, the comprehensive technical efficiency change (EC) can be further decomposed into pure technical efficiency change (PEC) and scale efficiency change (SEC) by introducing variable returns to scale distance functions. The model reads as follows:

$$\begin{aligned} \ln(EI)_{it} &= \beta_0 + \beta_1 \ln\left(\frac{P_E}{P_Q}\right)_{it} + \beta_2 \ln(TC)_{it} \\ &+ \beta_3 \ln(PEC)_{it} + \beta_4 \ln(SEC)_{it} + \beta_5 \ln(Induva)_{it} + \varepsilon_{it}. \end{aligned} \tag{7}$$

According to the production process, accessing energy resources, technical standards and the extent of opening up are different in countries, hence the energy intensity of each country is quite different. Thus, such an analysis is likely most useful at the comparison level between energy exporting and importing countries. Therefore, we classify the countries into two groups including net energy exporting and importing countries. Then, we estimate Eq. 7 for each group. In addition, following previous studies, the countries may seek to increase efficiency, encourage the firms to conduct internal R&D [33] or adopt foreign technology [34, 35] or trade openness [36]. Hence, for determining the

sources of technical efficiency in energy exporting and importing countries, such a comparison enables us to identify the main factors that most effectively influence technical efficiency and result in declining energy intensity.

2.2. Data description

As implied before, we attempt to evaluate the driving factors of energy intensity changes by comparing between energy exporting¹ and importing² countries. The final regression model for each group follows from Eq. 7. Data are annual and per constant price GDP 2015 year and extracted from the World Bank and IEA. The studied period is selected during 2000–2021, considering availability of data.

The data description is as follows: EI_{it} denotes energy intensity of country i at time t . Energy intensity is calculated as the ratio of energy consumption (barrels of oil) to GDP at constant purchasing power parities of the year 2015; α_i are country-fixed effects; P_E/P_Q is the energy relative price that is calculated as the ratio of the fuel and power price index to producer price index. $Induva$ is the share of the industrial sector in economic, and ε_{it} is disturbance terms assumed to be white-noise and uncorrelated.

TC , PEC , SEC are the technological progress and its components. In order to measure these dynamic efficiencies, we employed the DEA-Malmquist approach to gain TFP changes for all countries. We use the productivity with distance function. There is a production possibility set S . S represents the ability to achieve the transformation of x to y , and the point (x, y) in the S at which it can achieve the largest output y in every given input x is in the production frontier. With production possibility set S , the distance function in time t ($1, 2, \dots, T$) is shown in Eq. 8.

$$D(x; y) = \inf \{ \theta : (x; y | \theta) \in S \} = (\theta : (x; \theta y) \in S)^{-1}, \quad (8)$$

where $D(x, y) \leq 1$, if and only if point $(x, y) \in S$; and $D(x, y) = 1$, if and only if point (x, y) is in the production frontiers.

The Malmquist index is defined as:

$$M(x^{(t+1)}; y^{(t+1)}; x'; y') = \left[\left(\frac{D'(x^{t+1}; y^{t+1})}{D'(x'; y')} \right) \cdot \left(\frac{D^{t+1}(x^{t+1}; y^{t+1})}{D^{t+1}(x'; y')} \right) \right]^{1/2}. \quad (9)$$

We have divided it into two functions, D' and D^{t+1} , in time t and $t + 1$. Thereby, Eq. 9 has two parts: the first one is the percentage in the distance function D' , between the possible output in time $t + 1$ and its real time t . The second part is the distance function D^{t+1} , between the real output in $t + 1$ and the possible output in time t . Fare and Grosskopf [37] constructs the technical Malmquist index from t to $t + 1$ and decompose it into two parts: comprehensive technical efficiency (EC) and technical progress change (TC) that are called “frontier” technological progress and “following” technological progress, respectively:

$$EC = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}; y^{t+1})}{D'(x'; y')}. \quad (10)$$

$$TC = \left(\frac{D'(x^{t+1}; y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}; y^{t+1})} \cdot \frac{D'(x'; y')}{D^{t+1}(x'; y')} \right)^{1/2}. \quad (11)$$

In the formulas above: the Malmquist index M is defined as productivity changes, $M > 1$ means productivity level increase, $M < 1$ indicates productivity level decrease and $M = 1$ means productivity level remains unchanged. Also, EC is defined as the comprehensive technical efficiency and indicates the advantages and disadvantages of management decisions and resource allocation, $EC > 1$ means improvement in EC , management methods and resource allocation. $EC < 1$ indicates decline of technical efficiency, inappropriate management decisions and insufficient utilization of resource, and $EC = 1$ means the EC remains unchanged. Moreover, TC indicates changes in technological progress, that is, changes in technological innovation and industrial production technology. $TC > 1$ indicates progress in production technology. $TC < 1$ indicates a decline in production technology, and $TC = 1$ means the technological progress remains unchanged.

According to the DEA model, the technical efficiency change (EC) can be further decomposed into pure technical efficiency change (PEC) and scale efficiency change (SEC), by introducing variable returns to the

¹ Net energy exporting countries include Norway, Kazakhstan, Russia, Uzbekistan, Canada, Colombia, Mexico, Venezuela, Indonesia, Malaysia, Australia, Algeria, Egypt, Nigeria, South Africa, Iran, Kuwait, Saudi Arabia and United Arab Emirates.

² Net energy importing countries include Ukraine, South Korea, China, Thailand, United States, The Czech Republic, New Zealand, Belgium, Sweden, Argentina, Poland, India, Brazil, Chile, France, The Netherlands, Japan, Germany, Spain, Portugal, Romania, Italy, Turkey and the United Kingdom.

scale distance function. Thereby, the Malmquist index is expressed as Eq. 12:

$$M(x^{t+1}; y^{t+1}; x^t; y^t) = EC \cdot TC = (PEC \cdot SEC) \cdot TC. \quad (12)$$

By supposing the subscripts v and c refer to variable returns to scale technology and constant return to scale technology, respectively, thereby, the *PEC* and *SEC* can be expressed as:

$$PEC = \frac{D_v^{t+1}(x^{t+1}; y^{t+1})}{D_v^t(x^t; y^t)}. \quad (13)$$

$$SEC = \frac{D_c^{t+1}(x^{t+1}; y^{t+1})}{D_c^t(x^t; y^t)} \cdot \frac{D_v^t(x^t; y^t)}{D_v^{t+1}(x^{t+1}; y^{t+1})}. \quad (14)$$

Finally, we employ the dynamic panel data method to run the regression model. A reliable solution for the efficient estimation of dynamic panels was set by Arellano and Bond [38] by using the Generalized Method of Moments (GMM). This estimator has become extremely popular, especially in the context of empirical dynamic research, because it allows one to relax some of the OLS assumptions. The Arellano and Bond estimator corrects for the endogeneity in the lagged dependent variable and provides consistent parameter estimates even in the presence of endogenous right-hand-side variable. It also allows for individual fixed effects, heteroscedasticity and autocorrelation within individuals [39]. Consistency of the GMM estimator depends on the validity of the instruments. As suggested by Arellano and Bond [38], Arellano and Bover [40], and Blundell and Bond [41], two specification tests are used. Firstly, the Sargan/Hansen test of over-identifying restrictions which tests for overall validity of the instruments and the null hypothesis is that all instruments as a group are exogenous. The second test examines the null hypothesis that error term ε_{it} of the differenced equation is not serially correlated particularly at the second order (AR(2)), and one should not reject the null hypothesis of both tests.

3. Results

Before estimating the regression models for each group of countries, an important step was to test for unit roots with stationary covariates. Hence, we used the Im, Pesaran, and Shin [42] unit root test assuming that the series are non-stationary. Table 1 presents the results of the IPS unit root test. The findings demonstrate that all variables in both groups are stationary at the level. In other words, all variables are integrated with order (0).

Table 1.

IPS unit root test at level

Variables	Energy exporting countries	Energy importing countries
ln(EI)	-7.44 (0.000) *	-3.14 (0.0008)
ln(TFP)	-6.88 (0.000)	-3.67 (0.0001)
ln(TC)	-8.64 (0.000)	-3.180 (0.0007)
ln(EC)	-11.96 (0.000)	-14.08 (0.000)
ln(PEC)	-8.41 (0.000)	-10.26 (0.000)
ln(SEC)	-12.47 (0.000)	-12.61 (0.000)
ln(PE/PQ)	-4.56 (0.000)	-2.93 (0.0017)
ln(Induva)	-5.09 (0.000)	-7.01 (0.000)
ln(trade)	-2.05 (0.020)	-2.32 (0.010)
ln(FDI)	-2.85 (0.002)	-3.46 (0.0003)
ln(internal R&D)	-5.78 (0.000)	-2.79 (0.0026)

* Figures in parentheses are significant prob. value

Tables 2, 3 report the results of dynamic panel estimations in net energy exporting and importing countries. The findings imply that in net energy exporting countries, technological progress and its components enhance productivity; thereby they have significant effects to reduce energy intensity. However, the effects are relatively weak. According to the results, a percent increase of total factor productivity (*TFP*) in the energy exporting countries causes a decrease in energy intensity of 0.047 percent. Also, after *TFP* decomposing into the technical change (*TC*) and the efficiency change (*EC*), in energy exporting countries *TC* has a negative and significant effect on energy intensity, interestingly, so that a percent increase in *TC* causes a decrease in energy intensity by 0.051 percentage. The effect of *EC* on declining energy intensity is not significant, as expected. When *TFP* is further decomposed into the technical change (*TC*), the pure efficiency (*PEC*) and the scale efficiency change (*SEC*), the results show that the coefficients of the components related to *TC* and *SEC* are significantly negative in energy exporting countries, although, the estimated coefficients are weak. Some causes are the imperfect infrastructures and relatively lower level of technology and economic development in most energy exporting countries, so the positive effects of technology progress on energy intensity are not be maximized. Another main note is that the negative effect of *PEC* on energy intensity is not significant in

these countries. In other words, due to the cheapness of energy resources in exporting countries, the role of net efficiency in reducing energy intensity has not been paid enough attention.

The findings in net energy importing countries indicate that technological progress and its components have significant and negative effects on energy intensity, so that these effects are at least very much greater than those in energy exporting countries. The results show that a percent increase of total factor productivity (*TFP*) in the importing countries causes a decrease in energy intensity of 0.120 percent. Also, after *TFP* decomposing into the technical change (*TC*) and the efficiency change (*EC*), both coefficients are significant and negative, so that a percent of increases in *TC* and *EC* causes a decrease in energy intensity by 0.078 and 0.245 percentages, respectively. This means that in energy importing countries, the coefficient of efficiency change is very much larger than that of technical change. It implies that the effects of technical progress on energy intensity can occur through both technical and efficiency changes. When *TFP* is further decomposed into the technical change (*TC*), the pure efficiency (*PEC*) and the scale efficiency change (*SEC*), the coefficients of these components are negative and highly significant in energy importing countries. Specifically, the estimated coefficient of the pure efficiency component in reducing energy intensity is very remarkable and shows the high importance of the efficiency components of *TFP* in energy management.

Overall, we can say that technological progress and its components are a main driver of energy intensity changes in both energy exporting and importing countries. However, the elasticity in energy importing countries is much greater than in energy exporting countries. A large portion of the stronger effects of *TFP* on the energy intensity in energy importing countries is through the pure efficiency change and its spillovers.

Next, we investigated what is the main driver of technological progress in the energy exporting and importing countries. However, there are differences in the development level, R&D inputs, energy resources and education between energy exporting and importing countries. We examine whether innovation activities including internal R&D and adoption of foreign technology (*FDI*) have differential effects on their technological efficiency. Likewise, we examined the role of trade liberalization on technological efficiency by considering the argument that trade liberalization enables firms to achieve high levels of efficiency through “learning-by-exporting-effects”. *Table 4* reports the results of GMM estimations for *TFP* in both groups of selected energy exporting and importing countries. The findings imply that in net energy exporting countries, *FDI* inflows and trade openness causes improved productivity. The estimated coefficient for trade openness is larger than *FDI* inflows, so that a percent of increase in *FDI* inflows and trade openness causes enhancement of *TFP* by 0.014 and 0.058 percentages, respectively. Also, the effect of internal R&D is not

Table 2.

**The GMM results for energy intensity changes
in energy exporting countries**

Variables	Model 1 (<i>TFP</i>)	Model 2 ($TFP = TC \cdot EC$)	Model 3 ($TFP = TC \cdot PEC \cdot SEC$)
$\ln(EI)$	0.9011 (0.0000) *	0.9127 (0.0000)	0.8973 (0.0000)
$\ln(TFP)$	-0.0475 (0.0003)		
$\ln(TC)$		-0.0513 (0.0024)	-0.0392 (0.0064)
$\ln(EC)$		-0.0428 (0.136)	
$\ln(PEC)$			-0.0189 (0.1144)
$\ln(SEC)$			-0.0300 (0.0020)
$\ln(PE/PQ)$	-0.0178 (0.337)	-0.0167 (0.486)	-0.0379 (0.6062)
$\ln(Induva)$	0.1215 (0.0000)	0.1198 (0.0000)	0.0502 (0.0058)
Sargan – <i>p</i> -value	0.358	0.325	0.337

* Figures in parentheses are significant prob. values

Table 3.

**The GMM results for energy intensity changes
in energy importing countries**

Variables	Model 1 (<i>TFP</i>)	Model 2 ($TFP = TC \cdot EC$)	Model 3 ($TFP = TC \cdot PEC \cdot SEC$)
$\ln(EI)$	0.9760 (0.0000) *	0.9643 (0.0000)	0.9662 (0.0000)
$\ln(TFP)$	-0.1202 (0.0000)		
$\ln(TC)$		-0.0782 (0.0000)	-0.0590 (0.0000)
$\ln(EC)$		-0.2454 (0.0000)	
$\ln(PEC)$			-0.2584 (0.0000)
$\ln(SEC)$			-0.1613 (0.0000)
$\ln(PE/PQ)$	-0.1035 (0.0000)	-0.0998 (0.0000)	-0.1016 (0.0007)
$\ln(Induva)$	0.12173 (0.0000)	0.1262 (0.0000)	0.1526 (0.0003)
Sargan – <i>p</i> -value	0.397	0.364	0.327

* Figures in parentheses are significant prob. values

significant. This result is reasonable because internal R&D is a risky and costly path-dependent process in comparison with the adoption of foreign technology by *FDI* inflows and trade openness, especially for firms in energy exporting countries. Hence the firms in these countries spend low levels of investment in internal R&D and thereby, there is a lack of organized R&D activity in most energy exporting countries.

As expected, the findings in net energy importing countries indicate that the internal R&D, trade openness and *FDI* inflows have positive and significant effects on technological efficiency. The role of internal R&D is dominant, so that a percent of increase in the internal R&D, trade openness and *FDI* inflows causes enhancement of *TFP* by 0.0269, 0.0045 and 0.0007 percentages, respectively.

However, it is important to note that the result confirms that in energy exporting countries trade openness is a dominant factor for improving technological efficiency. This result is reasonable, because trade liberalization policies can increase competition between domestic and foreign firms that may allow domestic firms access to cheaper and better technology and better quality inputs and managerial skills from abroad, thereby increasing productivity. Additionally, we found that in energy importing countries, R&D activities were important contributors to the decline in energy intensity. This finding can be attributed to the greater share of foreign R&D expenditures in this group. Put differently, energy exporting countries lack incentives to incur domestic expenditures on technology development and technological innovation because, presumably,

Table 4.

The GMM results for TFP change model

Variables	Energy exporting countries	Energy importing countries
$\ln(TFP)$	0.1593 (0.0006) *	0.1405 (0.0000)
$\ln(TRADE)$	0.0584 (0.0256)	0.0045 (0.0134)
$\ln(FDI)$	0.0149 (0.0253)	0.0007 (0.0090)
$\ln(\text{internal R\&D})$	0.0387 (0.2965)	0.0269 (0.0000)
Sargan – <i>p</i> -value	0.330	0.559

* Figures in parentheses are significant prob. values.

this costs a lot and is time-consuming. Thus, exporting countries opt to purchase international technology that is from R&D activities in importing countries.

Finally, we performed the Sargan test for over-identification, and tests for serial correlation of the differenced error term. As can be seen from the corresponding p -values of these tests, reported at the bottom of all *Tables 2–4*, the null hypothesis of the validity of instruments cannot be rejected. Also, the first- and second-order serial correlation tests show that there exist negative first-order serial correlations and there is no evidence of second-order serial correlation in the differenced error terms.

Conclusion

The energy intensities of most energy exporting countries have historically been very high compared with energy importing and industrialized economies. Although energy efficiency improved over the period 2000–2021, the production process, access to energy resources, technical standards and the extent of opening up are different in energy exporting and importing countries, and hence their energy intensity changes are quite different. Therefore, this question is still an important argument for the factors that are driving the decline in energy intensity in each group of countries. Hence, this paper has compared the main driving factors of energy intensity changes in net energy exporting and importing countries using dynamic panel data during 2000–2021. The findings show that technological progress has played a negative role in energy intensity in both groups; of course, this effect is greater in importing countries, as expected. Furthermore, in order to have a better understanding of technological progress, we employed the DEA-Malmquist approach for each country to decompose *TFP* into the technical change (*TC*) and the efficiency change (*EC*), the pure efficiency (*PEC*) and the scale efficiency change (*SEC*).

The findings for energy exporting countries indicate that *TC* has a negative and significant effect on energy intensity, although, the estimated coefficient is relatively weak. Meanwhile, the effect of *EC* on declining energy intensity is not significant, as expected. Also, the coefficient of the component related to *SEC* is significantly negative in energy exporting countries. Because of imperfect infrastructures and relatively lower level of technology and economic development in most energy exporting countries, this finding is reasonable. Finally, the negative effect of the *PEC* on energy intensity is not significant in exporting countries.

Hence, these findings confirm that due to the cheapness of energy resources in exporting countries, they have not paid enough attention to the role of net efficiency in reducing energy intensity.

The results for net energy importing countries indicate that the negative effects of efficiency change (*PE*) on energy intensity are slightly larger than that of *TC*, implying that the effects of technical progress on the energy intensity can occur through both technical and efficiency changes. Also, the coefficient of the component related to *SEC* is significantly negative in energy importing countries, as expected. Finally, the estimated coefficient of *PEC* in reducing energy intensity is very remarkable, which shows the high importance of the efficiency components of *TFP* in energy management. However, the results confirm that a large portion of the stronger effects of *TFP* on declining energy intensity in energy importing countries has occurred through the pure efficiency change and its spillovers.

Next, we investigated what is the main driver of technological progress in the energy exporting and importing countries. However, there is a difference in the development level, research and development (R&D) inputs, energy resources and education between energy exporting and importing countries. We examined whether innovation activities including internal R&D and adoption of foreign technology (*FDI*) have differential effects on their technological efficiency. Likewise, we examined the role of trade liberalization on technological efficiency by considering the argument that trade liberalization enables firms to achieve high levels of efficiency through “learning-by-exporting-effects.” The findings imply that in net energy exporting countries, trade openness is a dominant factor for improving technological efficiency. Because trade liberalization policies can increase competition between domestic and foreign firms they may allow domestic firms access to cheaper and better technology and better quality inputs and managerial skills from abroad and finally increase the productivity. Also, the effect of internal R&D is not significant. This result is reasonable because internal R&D is a risky and costly path-dependent process in comparison with the adoption of foreign technology by trade openness, especially for firms in energy exporting countries. Hence the firms in these countries spend low levels of investment in internal R&D and exporting countries opt to purchase international technology that is from R&D activities in importing countries. Meanwhile, the findings in net energy importing

countries indicate that R&D activities were important contributors to the decline in energy intensity. This finding can be attributed to the greater share of internal R&D expenditures in this group.

Overall, the results of this study might have important policy implications. Most significantly, it shows that the energy intensity fluctuation is simultaneously forced by both technical change and efficiency change, although these effects are stronger in net energy importing countries compared with net energy exporting countries, as expected. Specifically, the role of pure efficiency change in reducing energy intensity is very considerable. However, policy makers in both energy exporting and importing countries need to be aware of the fact that

technological progress and innovation are powerful tools in reducing energy intensity. Hence, this study suggests that the governments should encourage use of advanced technologies and management experience, especially in energy exporting countries. Also, policy makers in exporting countries should focus on trade liberalization, especially on information exchange via learning-by-exporting effects. As well, we found that innovation investments (internal R&D) play a substantial role to improve energy efficiency in importing countries. Therefore, this study suggests that governmental intervention especially in exporting countries should strengthen innovation capacity and also promote energy saving technology. ■

References

- Huang J., Hao Y., Lei H. (2018) Indigenous versus foreign innovation and energy intensity in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1721–1729. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.266>
- Galli R. (1998) The relationship between energy intensity and income levels: forecasting long-term energy demand in Asian emerging countries. *The Energy Journal*, vol. 19, no. 4, pp. 85–105. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol19-No4-4>
- Taylor P.G., d'Ortigue O.L., Francoeur M., Trudeau N. (2010) Final energy use in IEA countries: The role of energy efficiency. *Energy Policy*, vol. 38, no. 11, pp. 6463–6474. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.009>
- Gillingham K., Rapson D., Wagner G. (2016) The rebound effect and energy efficiency policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 10, pp. 68–88. <https://doi.org/10.1093/reep/rev017>
- Ward D.O., et al. (2011) Factors influencing willingness-to-pay for the ENERGY STAR® label. *Energy Policy*, vol. 39, no. 3, pp. 1450–1458. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.017>
- Jiang L., Folmer H., Ji H.M. (2014) The drivers of energy intensity in China: A spatial panel data approach. *China Economic Review*, vol. 31, pp. 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2014.10.003>
- Huang J., Du D. Hao Y. (2017) The driving forces of the change in China energy intensity: An empirical research using DEA-Malmquist and spatial panel estimations. *Economic Modelling*, vol. 65, pp. 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2017.04.027>
- World energy outlook 2022*. International Energy Agency (IEA). Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022> (accessed 22 March 2023).
- Key world energy statistics 2021*. International Energy Agency (IEA). Available at: <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021> (accessed 22 March 2023).
- Kaldor N. (1978) *Further essays on economic theory*. London: Duckworth.
- Lewis W.A. (1980) The slowing down of the engine of growth. *American Economic Review*, vol. 70, no. 4, pp. 555–564. Available at: <http://www.jstor.org/stable/1803555> (accessed 22 March 2023).
- Medlock K., Soligo R. (2001) Economic development and end-use energy demand. *The Energy Journal*, vol. 22, no. 2, pp. 77–106. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol22-No2-4>
- Szirmai A. (2011) *Manufacturing and economic development. Working paper*. Helsinki: UNU-WIDER. Available at: <https://www.wider.unu.edu/sites/default/files/wp2011-075.pdf> (accessed 22 March 2023).
- Sun J.W., Ang B.W. (2000) Some properties of an exact energy decomposition model. *Energy*, vol. 25, no. 12, pp. 1177–1188. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(00\)00038-4](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(00)00038-4)
- Lin B., Du K. (2015) Energy and CO₂ emissions performance in China's regional economies: Do market-oriented reforms matter? *Energy Policy*, vol. 78, pp. 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.12.025>
- Elliott R.J.R., Sun P.Y., Chen S.Y. (2013) Energy intensity and foreign direct investment: A Chinese city-level study. *Energy Economics*, vol. 40, pp. 484–494. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.08.004>
- Shahbaz M., Nasreen S., Ling C.H.V., Sbia R. (2014) Causality between trade openness and energy consumption: What causes what in high, middle and low-income countries? *Energy Policy*, vol. 70, pp. 126–143. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.03.029>

18. Adom P.K. (2015) Asymmetric impacts of the determinants of energy intensity in Nigeria. *Energy Economics*, vol. 49, pp. 570–580. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.03.027>
19. Adom P.K., Amuakwa-Mensah F. (2016) What drives the energy saving role of FDI and industrialization in East Africa? *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 65, pp. 925–942. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.039>
20. Grossman G., Krueger A. (1995) Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, vol. 110, pp. 353–377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
21. Waugh M.E. (2010) International trade and income differences. *American Economic Review*, vol. 100, no. 5, pp. 2093–2124. <https://doi.org/10.1257/aer.100.5.2093>
22. Adom P.K. (2015) Determinants of energy intensity in South Africa: Testing for structural effects in parameters. *Energy*, vol. 89, pp. 334–346. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.125>
23. Rafiq S., Salim R., Nielsen I. (2016) Urbanization, openness, emissions, and energy intensity: A study of increasingly urbanized emerging economies. *Energy Economics*, vol. 56, pp. 20–28.
24. Cole M.A. (2006) Does trade liberalization increase national energy use? *Economic Letters*, vol. 92, no. 1, pp. 108–120. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2006.01.018>
25. Jiang L., Ji M., Bai L. (2015) Characterizing china's energy consumption with selective economic factors and energy-resource endowment: A spatial econometric approach. *Frontiers of Earth Science*, vol. 9, pp. 355–368, <https://doi.org/10.1007/s11707-014-0469-0>
26. Soile I., Balogun B. (2011) Resource abundance and energy intensity: A cross country analysis. *Middle Eastern Finance and Economics*, no. 13. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2621002> (accessed 22 March 2023).
27. Yamouri N. (2010) *Middle East and North Africa – Energy in MENA*. World Bank. Available at: https://web.worldbank.org/archive/website01418/WEB/0_CO-46.HTM (accessed 22 March 2023).
28. Wing S.I. (2008) Explaining the declining energy intensity of the U.S. economy. *Resource and Energy Economics*, vol. 30, pp. 21–40. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2007.03.001>
29. Samargandi N. (2019) Energy intensity and its determinants in OPEC countries. *Energy*, vol. 186, Article 115803. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.133>
30. Atalla T., Bean P. (2017) Determinants of energy productivity in 39 countries: An empirical investigation. *Energy Economics*, vol. 62, pp. 217–229. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.12.003>
31. Ruh C., Appleb P., Fennema J., Naumov A., Schaffer M. (2012) Economic development and the demand for energy: A historical perspective on the next 20 years. *Energy Policy*, vol. 50, pp. 109–116, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.039>
32. Fankhauser S., Cornillie J. (2004) The energy intensity of transition countries. *Energy Economics*, vol. 26, no. 3, pp. 283–295, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2004.04.015>
33. Barasa L., Vermeulen P., Knob J., Kinyanjui, B., Kimuyu P. (2019) Innovation inputs and efficiency: Manufacturing firms in Sub-Saharan Africa. *European Journal of Innovation Management*, vol. 22, no. 1, pp. 59–83. <https://doi.org/10.1108/EJIM-11-2017-0176>
34. Fu X., Gong Y. (2011) Indigenous and foreign innovation efforts and drivers of technological upgrading: Evidence from China. *World Development*, vol. 39, pp. 1213–1225. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2010.05.010>
35. Fu X., Pietrobelli C., Soete L. (2011) The role of foreign technology and indigenous innovation in the emerging economies: Technological change and catching-up. *World Development*, vol. 39, pp. 1204–1212. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2010.05.009>
36. Kishi K., Okada K. (2021) The impact of trade liberalization on productivity distribution under the presence of technology diffusion and innovation. *Journal of International Economics*, vol. 128, Article 103396. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2020.103396>
37. Fare R., Grosskopf S. (1992) Malmquist productivity indexes and Fisher ideal indexes. *Economic Journal*, vol. 10, pp. 158–160.
38. Arellano M., Bond S. (1991) Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *Review of Economic Studies*, vol. 58, pp. 277–297. <https://doi.org/10.2307/2297968>
39. Roodman D. (2009) How to do Xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata. *The Stata Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 86–136. <https://doi.org/10.1177/1536867X0900900106>
40. Arellano M., Bover O. (1995) Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. *Journal of Econometrics*, vol. 68, no. 1, pp. 29–51. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01642-D](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01642-D)
41. Blundell R., Bond S. (1998) Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, vol. 87, no. 1, pp. 115–143. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8)
42. Im K.S., Pesaran M.H., Shin Y. (2003) Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, vol. 115, no. 1, pp. 53–74. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00092-7)

About the authors

Mehdi Fallah Jelodar

Ph.D.

Associate Professor of Mathematics, Department of Mathematics, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, 5 Km of the old road from Amol to Babol, Amol 678, Iran;

E-mail: Mehdi.fallah_jelodar@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-8473-564X

Somaye Sadeghi

Ph.D.

Assistant Professor of Economics, Department of Financial Management, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, 5 Km of the old road from Amol to Babol, Amol 678, Iran;

E-mail: Somysadeghi@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-9464-0011

Движущие факторы изменения энергопотребления: сравнительный анализ стран-экспортеров и стран-импортеров энергии

М. Фаллах Джелодар^a

E-mail: Mehdi.fallah_jelodar@yahoo.com

С. Садеги^{b*}

E-mail: Somysadeghi@yahoo.com

^a Department of Mathematics, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University
Адрес: 5 Km of the old road from Amol to Babol, Amol 678, Iran

^b Department of Financial Management, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University
Адрес: 5 Km of the old road from Amol to Babol, Amol 678, Iran

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация

В статье сравниваются движущие факторы изменения энергопотребления в странах, являющихся чистыми экспортерами и чистыми импортерами энергии. Были проанализированы данные за период 2000–2021 гг. с использованием методов DEA-Malmquist (Data Envelopment Analysis) и GMM (Generalized Method of Moments). Полученные результаты показывают, что технологический прогресс играет значительную роль в снижении энергопотребления в обеих группах. Кроме того, метод DEA был использован для декомпозиции общей факторной производительности Мальмквиста (total factor productivity, TFP) на отдельные компоненты, включая технические изменения (technical change, TC), изменение эффективности (efficiency change, EC), чистое изменение эффективности (pure efficiency change, PEC) и изменение эффекта масштаба (scale efficiency change, SEC). Результаты показывают, что в странах, являющихся экспортерами энергии, влияние каждого из этих компонентов TFP на энергопотребление является отрицательным, но относительно слабым, в то время как влияние этих компонентов на снижение энергопотребления в странах-импортерах является значительным. В частности, полученная оценка вклада компонента чистой эффективности в снижении энергопотребления весьма значительна, что показывает высокую важность компонентов эффективности TFP в управлении энергопотреблением. Также было проанализировано, что является основной движущей силой технологического прогресса как в странах-экспортерах, так и в странах-импортерах энергии. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в странах, которые являются чистыми экспортерами энергии, доминирующим фактором повышения производительности является открытость торговли, в то время как в странах – чистых импортерах энергии в качестве такого доминирующего фактора выступают внутренние исследования и разработки.

Ключевые слова: потребление энергии, метод DEA-Malmquist, либерализация торговли, прямые иностранные инвестиции, внутренние исследования и разработки, энергозависимые страны

Цитирование: Fallah Jelodar M., Sadeghi S. Driving factors of changes in energy intensity: A comparison between energy exporting and importing countries // *Business Informatics*. 2023. Vol. 17. No. 1. P. 86–100. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1. 86.100

Литература

1. Huang J., Hao Y., Lei H. Indigenous versus foreign innovation and energy intensity in China // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 81. P. 1721–1729. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.266>
2. Galli R. The relationship between energy intensity and income levels: forecasting long-term energy demand in Asian emerging countries // *The Energy Journal*. 1998. Vol. 19. No. 4. P. 85–105. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol19-No4-4>
3. Taylor P.G., d'Ortigue O.L., Francoeur M., Trudeau N. Final energy use in IEA countries: The role of energy efficiency // *Energy Policy*. 2010. Vol. 38. No. 11. P. 6463–6474. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.009>
4. Gillingham K., Rapson D., Wagner G. The rebound effect and energy efficiency policy // *Review of Environmental Economics and Policy*. 2016. Vol. 10. P. 68–88. <https://doi.org/10.1093/reep/rev017>
5. Ward D.O., et al. Factors influencing willingness-to-pay for the ENERGY STAR® label // *Energy Policy*. 2011. Vol. 39. No. 3. P. 1450–1458. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.017>
6. Jiang L., Folmer H., Ji H.M. The drivers of energy intensity in China: A spatial panel data approach // *China Economic Review*. 2014. Vol. 31. P. 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2014.10.003>
7. Huang J., Du D. Hao Y. The driving forces of the change in China energy intensity: An empirical research using DEA-Malmquist and spatial panel estimations // *Economic Modelling*. 2017. Vol. 65. P. 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2017.04.027>
8. World energy outlook 2022. International Energy Agency (IEA). [Электронный ресурс]: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022> (дата обращения 22.03.2023).
9. Key world energy statistics 2021. International Energy Agency (IEA). [Электронный ресурс]: <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021> (дата обращения 22.03.2023).
10. Kaldor N. Further essays on economic theory. London: Duckworth, 1978.
11. Lewis W.A. The slowing down of the engine of growth // *American Economic Review*. 1980. Vol. 70. No. 4. P. 555–564. [Электронный ресурс]: <http://www.jstor.org/stable/1803555> (дата обращения 22.03.2023).

12. Medlock K., Soligo R. Economic development and end-use energy demand // *The Energy Journal*. 2001. Vol. 22. No. 2. P. 77–106. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol22-No2-4>
13. Szirmai A. Manufacturing and economic development. Working paper. Helsinki: UNU-WIDER, 2011. [Электронный ресурс]: <https://www.wider.unu.edu/sites/default/files/wp2011-075.pdf> (дата обращения 22.03.2023).
14. Sun J.W., Ang B.W. Some properties of an exact energy decomposition model // *Energy*. 2000. Vol. 25. No. 12. P. 1177–1188. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(00\)00038-4](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(00)00038-4)
15. Lin B., Du K. Energy and CO₂ emissions performance in China's regional economies: Do market-oriented reforms matter? // *Energy Policy*. 2015. Vol. 78. P. 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.12.025>
16. Elliott R.J.R., Sun P.Y., Chen S.Y. Energy intensity and foreign direct investment: A Chinese city-level study // *Energy Economics*. 2013. Vol. 40. P. 484–494. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.08.004>
17. Shahbaz M., Nasreen S., Ling C.H.V., Sbia R. Causality between trade openness and energy consumption: What causes what in high, middle and low-income countries? // *Energy Policy*. 2014. Vol. 70. P. 126–143. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.03.029>
18. Adom P.K. Asymmetric impacts of the determinants of energy intensity in Nigeria // *Energy Economics*. 2015. Vol. 49. P. 570–580. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.03.027>
19. Adom P.K., Amuakwa-Mensah F. What drives the energy saving role of FDI and industrialization in East Africa? // *Renewable and Sustainable Energy Review*. 2016. Vol. 65. P. 925–942. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.039>
20. Grossman G., Krueger A. Economic growth and the environment // *Quarterly Journal of Economics*. 1995. Vol. 110. P. 353–377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
21. Waugh M.E. International trade and income differences // *American Economic Review*. 2010. Vol. 100. No. 5. P. 2093–2124. <https://doi.org/10.1257/aer.100.5.2093>
22. Adom P.K. Determinants of energy intensity in South Africa: Testing for structural effects in parameters // *Energy*. 2015. Vol. 89. P. 334–346. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.125>
23. Rafiq S., Salim R., Nielsen I. Urbanization, openness, emissions, and energy intensity: A study of increasingly urbanized emerging economies // *Energy Economics*. 2016. Vol. 56. P. 20–28.
24. Cole M.A. Does trade liberalization increase national energy use? // *Economic Letters*. 2006. Vol. 92. No. 1. P. 108–120. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2006.01.018>
25. Jiang L., Ji M., Bai L. Characterizing china's energy consumption with selective economic factors and energy-resource endowment: A spatial econometric approach // *Frontiers of Earth Science*. 2015. Vol. 9. P. 355–368. <https://doi.org/10.1007/s11707-014-0469-0>
26. Soile I., Balogun B. Resource abundance and energy intensity: A cross country analysis // *Middle Eastern Finance and Economics*. 2011. No. 13. [Электронный ресурс]: <https://ssrn.com/abstract=2621002> (дата обращения 22.03.2023).
27. Yamouri N. Middle East and North Africa – Energy in MENA. World Bank, 2010. [Электронный ресурс]: https://web.worldbank.org/archive/website01418/WEB/0_CO-46.HTM (дата обращения 22.03.2023).
28. Wing S.I. Explaining the declining energy intensity of the U.S. economy // *Resource and Energy Economics*. 2008. Vol. 30. P. 21–40. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2007.03.001>
29. Samargandi N. Energy intensity and its determinants in OPEC countries // *Energy*. 2019. Vol. 186. Article 115803. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.133>
30. Atalla T., Bean P. Determinants of energy productivity in 39 countries: An empirical investigation // *Energy Economics*. 2017. Vol. 62. P. 217–229. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.12.003>
31. Ruh C., Appleb P., Fennema J., Naumov A., Schaffer M. Economic development and the demand for energy: A historical perspective on the next 20 years // *Energy Policy*. 2012. Vol. 50. P. 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.039>
32. Fankhauser S., Cornillie J. The energy intensity of transition countries // *Energy Economics*. 2004. Vol. 26. No. 3. P. 283–295. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2004.04.015>
33. Barasa L., Vermeulen P., Knob J., Kinyanjui, B., Kimuyu P. Innovation inputs and efficiency: Manufacturing firms in Sub-Saharan Africa // *European Journal of Innovation Management*. 2019. Vol. 22. No. 1. P. 59–83. <https://doi.org/10.1108/EJIM-11-2017-0176>
34. Fu X., Gong Y. Indigenous and foreign innovation efforts and drivers of technological upgrading: Evidence from China // *World Development*. 2011. Vol. 39. P. 1213–1225. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2010.05.010>
35. Fu X., Pietrobelli C., Soete L. The role of foreign technology and indigenous innovation in the emerging economies: Technological change and catching-up // *World Development*. 2011. Vol. 39. P. 1204–1212. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2010.05.009>
36. Kishi K., Okada K. The impact of trade liberalization on productivity distribution under the presence of technology diffusion and innovation // *Journal of International Economics*. 2021. Vol. 128. Article 103396. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2020.103396>

37. Fare R., Grosskopf S. Malmquist productivity indexes and Fisher ideal indexes // *Economic Journal*. 1992. Vol. 10. P. 158–160.
38. Arellano M., Bond S. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations // *Review of Economic Studies*. 1991. Vol. 58. P. 277–297. <https://doi.org/10.2307/2297968>
39. Roodman D. How to do Xtabond2: An introduction to difference and system GMM in Stata // *The Stata Journal*. 2009. Vol. 9. No. 1. P. 86–136. <https://doi.org/10.1177/1536867X0900900106>
40. Arellano M., Bover O. Another look at the instrumental variable estimation of error-components models // *Journal of Econometrics*. 1995. Vol. 68. No. 1. P. 29–51. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01642-D](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01642-D)
41. Blundell R., Bond S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models // *Journal of Econometrics*. 1998. Vol. 87. No. 1. P. 115–143. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8)
42. Im K.S., Pesaran M.H., Shin Y. Testing for unit roots in heterogeneous panels // *Journal of Econometrics*. 2003. Vol. 115. No. 1. P. 53–74. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00092-7)

Об авторах

Мехди Фаллах Джелодар

Ph.D.

Associate Professor of Mathematics, Department of Mathematics, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, 5 Km of the old road from Amol to Babol, Amol 678, Iran;

E-mail: Mehdi.fallah_jelodar@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-8473-564X

Сомайе Садеги

Ph.D.

Assistant Professor of Economics, Department of Financial Management, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, 5 Km of the old road from Amol to Babol, Amol 678, Iran;

E-mail: Somysadeghi@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-9464-0011