

ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES



Том 48, № 1



ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

2021. Том 48, № 1

Ранее журнал издавался под названием «Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика».

Основан в 1995 г.

Журнал включен в Перечень ВАК рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям); 05.13.17 Теоретические основы информатики; 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. 08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности); 08.00.10 Финансы, денежное обращение и кредит). Журнал зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет».

Издатель: НИУ «БелГУ» Издательский дом «БелГУ».

Адрес редакции, издателя: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Главный редактор

Е.Г. Желяков, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий института инженерных и цифровых технологий (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Заместитель главного редактора

Е.А. Стряжкова, доктор экономических наук, доцент, заведующая кафедрой прикладной экономики и экономической безопасности института экономики и управления (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Ответственные секретари

Ю.В. Лыжикова, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности института экономики и управления (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Е.В. Болгова, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий института инженерных и цифровых технологий (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Члены редколлегии:

А.В. Богомолов, доктор технических наук, профессор (Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия)

О.В. Ваганова, доктор экономических наук, доцент, заведующая кафедрой инновационной экономики и финансов института экономики и управления (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

М.В. Владыка, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, заместитель директора по научной работе института экономики и управления (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

В.П. Волчков, доктор технических наук, профессор (Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия)

В.П. Воронин, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры торгового дела и товароведения (Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия)

В.С. Голиков, доктор технических наук, профессор (Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR), Мексика)

С.Л. Кантарджян, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой предпринимательства и управления (Ереванский государственный университет, Ереван, Армения)

Н.А. Кулагина, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры государственного управления, экономической и информационной безопасности, директор инженерно-экономического института (Брянский государственный инженерно-технологический университет, Брянск, Россия)

А.С. Молчан, доктор экономических наук, профессор, директор института экономики, управления и бизнеса, заведующий кафедрой экономической безопасности (Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия)

Т.В. Никитина, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры банков, финансовых рынков и страхования (Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Россия)

В.Г. Рубанов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической кибернетики, заслуженный деятель науки РФ (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия)

А.А. Сирота, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий обработки и защиты информации (Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия)

В.Б. Сулимов, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский вычислительный центр, Москва, Россия)

В.М. Тумин, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры менеджмента (Московский политехнический университет, Москва, Россия)

А.А. Черноморец, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий института инженерных и цифровых технологий (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77-77834 от 31.01.2020. Выходит 4 раза в год.

Выпускающий редактор Л.П. Коханова. Корректурa, компьютерная верстка и оригинал-макет Ю.В. Ивахненко. Гарнитура Times New Roman, Arial Narrow, Impact. Уч.-изд. л. 15,3. Дата выхода 30.03.2021. Оригина́л-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

- 5 **Горочная В.В.**
Горизонтальные межрегиональные связи в приграничном пространстве европейской части России: состояние и перспективы в период геоэкономической турбулентности
- 17 **Макарова Е.Л.**
Подходы к управлению гибкостью системы высшего образования на основе учета социально-экономических особенностей регионов

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

- 25 **Горова Н.В.**
Технологическое развитие регионов России (на примере Белгородской области)
- 34 **Григорьев Е.А.**
Состояние национальной инновационной системы России как повод к её институциональному совершенствованию
- 44 **Шевченко С.А., Кузьмина Е.В., Кузьмина М.И.**
Стратегия «умной специализации»: характерные признаки и условия успешной реализации в регионе

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

- 59 **Анохов И.В.**
Взаимосвязь макроэкономических процессов и внутренней среды промышленного предприятия (с точки зрения концепции А.А. Богданова)
- 72 **Шумакова И.А.**
Управление маркетинговой деятельностью российских вузов и его адаптация к изменяющимся рыночным условиям в экономике России и на глобальных рынках

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

- 82 **Зенкина Е.В.**
Замещение банковского кредита эмиссией рыночных долговых обязательств как мера стимулирования инноваций в экономике страны
- 89 **Полетаева В.М., Смулов А.М.**
Определение оптимальных условий банковско-государственного финансирования промышленных предприятий

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 100 **Оболенский Д.М., Шевченко В.И., Ченгарь О.В., Мащенко Е.Н., Соина А.С.**
Реализация классификатора групп в социальных сетях с помощью рекуррентных и сверточных нейронных сетей

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

- 116 **Александров В.В., Малий Ю.В., Александрова Ю.В., Семенякин А.И.**
Подход к разработке системы выявления инцидентов информационной безопасности информационных ресурсов банковских систем при реализации этапов противодействия противоправным действиями
- 123 **Бутенко Ю.И.**
Модель учебно-научного текста для разметки корпуса научно-технических текстов
- 130 **Муромцев В.В., Никитин В.М., Ефремова О.А., Камышникова Л.А.**
Информационная технология оперативного определения жизнеугрожающих состояний сердечно-сосудистой системы
- 142 **Поспелов А.А., Серебровский В.В., Закурдаева Е.В.**
Основные способы получения информации о биологических объектах
- 150 **Менькова А.С.**
Использование сервиса автоматизации составления программ тренировок в условиях пандемии коронавирусной инфекции COVID-19

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 156 **Павлов А.М., Пожидаева И.А.**
Оценка энергоэффективности агрегирования разнородных данных в беспроводных сенсорных сетях
- 168 **Сугак В.Г., Михайлюк Е.А., Дубовицкий А.Н., Маматов Е.М., Маматов М.Е.**
Методы нечеткой логики в георадарных задачах
- 178 **Алейников С.А., Сорокина С.А., Офицеров А.И.**
Метод эмоционального прогнозирования в онлайн-собеседовании
- 188 **Волчков В.П., Асирян В.М.**
Возможности преобразования Вейля – Гейзенберга в стандарте сжатия JPEG

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES

2021. Volume 48, No. 1

Previously, the magazine was published under the title «Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies».

Founded in 1995

The journal is included into the List of Higher Attestation Commission of peer-reviewed scientific publications where the main scientific results of dissertations for obtaining scientific degrees of a candidate and doctor of science should be published (05.13.01 The system analysis, management and information processing (on branches), 05.13.17 Theoretical Foundations of Informatics, 05.13.18 Mathematical modeling numerical methods and program complexes, 08.00.05 Economy and management of a national economy (by branches and spheres of activity in t.ch., 08.00.10 Finance, monetary circulation and credit). The journal is introduced in Russian Science Citation Index (RSCI).

Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher education «Belgorod National Research University».

Publisher: Belgorod National Research University «BelSU» Publishing House.
Address of editorial office, publisher: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia.

EDITORIAL BOARD OF JOURNAL

Chief Editor

E.G. Zhilyakov, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Institute of Engineering and Digital Technologies (BSU, Belgorod, Russia)

Deputy editor-in-chief

E.A. Stryabkova, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Applied Economics and Economic Security, Institute of Economics and Management (BSU, Belgorod, Russia)

Editorial assistants:

Y.V. Lyshchikova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Institute of Economics and Management (BSU, Belgorod, Russia)

E.V. Bolgova, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Institute of Engineering and Digital Technologies (BSU, Belgorod, Russia)

Members of Editorial Board:

A.V. Bogomolov, Doctor of technical sciences, Professor (State Research Institute of Military Medicine of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia)

O.V. Vaganova, doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Innovative Economy and Finance of the Institute of Economics (BSU, Belgorod, Russia)

M.V. Vladyka, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Deputy Director for Research of the Institute of Economics and Management (BSU, Belgorod, Russia)

V.P. Volchkov, Doctor of technical sciences, Professor (Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia)

V.P. Voronin, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Trade and Commodity Science (Voronezh State University of Engineering Technology, Voronezh, Russia)

V.S. Golikov, Doctor of technical sciences, Professor (Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR), Mexico)

S.L. Kantardjan, Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of «Entrepreneurship and management» (Yerevan State University, Yerevan, Armenia)

N.A. Kulagina, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of Department of public administration, economic and information security, Director of the Engineering and Economic Institute (Bryansk State Technological University of Engineering, Bryansk, Russia)

A.S. Molchan, Doctor of Economic Sciences, Professor, Director of the Institute of Economics, Management and Business, Head of the Department of Economic, (Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia)

T.V. Nikitina, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of Department of banks and financial markets and insurance (Saint-Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg, Russia)

V.G. Rubanov, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Technical Cybernetics (Belgorod State Technological University named after V.G. Shuhov, Belgorod, Russia)

A.A. Sirota, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Information Processing and Protection of Information (Voronezh State University, Voronezh, Russia)

V.B. Sulimov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, (Lomonosov Moscow State University, Research Computer Center, Moscow, Russia)

V.M. Tumin, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of management (Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia)

A.A. Chernomorets, Doctor of technical sciences, Associate professor of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Institute of Engineering and Digital Technologies (BSU, Belgorod, Russia)

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor). Mass media registration certificate ЭЛ № ФЦ 77-77834 dd 31.01.2020.
Publication frequency: 4 /year

Commissioning Editor L.P. Kokhanova. Pag Proofreading, computer imposition, page layout by Y.V. Ivakhnenko. Typeface Times New Roman, Arial Narrow, Impact. Publisher's signature 15.3. Date of publishing 30.03.2021. The layout was pre-pared by the Department of the joint editorial Board of scientific journals of NRU "BelSU". Address: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

CONTENTS

REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

- 5 **Gorochnaya V.V.**
Horizontal interregional relations in the border area of the European part of Russia: state and prospects in the period of geo-economic turbulence
- 17 **Makarova E.L.**
Approaches to managing the flexibility of the higher education system taking into account the socio-economic features of regions

INVESTMENT AND INNOVATIONS

- 25 **Govorova N.V.**
Technological development of Russian Regions (on the example of Belgorod Region)
- 34 **Grigoriev E.A.**
State of the national innovation system of Russia as a reason for its institutional improvement
- 44 **Shevchenko S.A., Kuzmina E.V., Kuzmina M.I.**
Strategy of «smart specialization»: characteristics and conditions for successful implementation in the region

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

- 59 **Anokhov I.V.**
The relationship between macroeconomic processes and the internal environment of an industrial enterprise (from the point of view of the concept of A.A. Bogdanov)
- 72 **Shumakova I.A.**
Management of marketing activities of Russian universities and its adaptation to changing market conditions in the economy Russia and global markets

PUBLIC AND BUSINESS FINANCE

- 82 **Zenkina E.V.**
Replacement of bank credit with issue of market debt obligations as a measure of stimulation of innovations in the economy of the country
- 89 **Poletaeva V.M., Smulov A.M.**
Stipulation optimal conditions of manufacturing companies bank and government financing

COMPUTER SIMULATION HISTORY

- 100 **Obolensky D.M., Shevchenko V.I., Chengar O.V., Maschenko E.N., Soina A.S.**
An im-plementation of social network group classification model based on recurrent and convolution neural networks

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

- 116 **Alexandrov V.V., Maliy Yu.V., Alexandrova Yu.V., Semenyakin A.I.**
Approach to development of a system for detecting incidents of information security of information resources of banking systems, when implementing stages of counteraction of illegal actions
- 123 **Butenko Iu.I.**
Model of educational texts for markup in a corpus of scientific and technical texts
- 130 **Muromtsev V.V., Nikitin V.M., Efremova O.A., Kamyshnikova L.A.**
The information technology for rapid determination life-threatening states of the cardiovascular system
- 142 **Pospelov A.A., Serebrovskij V.V., Zakurdaeva E.V.**
Basic ways of obtaining information about biological objects
- 150 **Men'kova A.S.**
Using the training program automation service in the context of the COVID-19 coronavirus pandemic

INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

- 156 **Pavlov A.M., Pozhidaeva I.A.**
Energy efficiency assessment of heterogeneous data aggregation in wireless sensor networks
- 168 **Sugak V.G., Mikhajlyuk E.A., Dubovitskiy A.N., Mamatov E.M., Mamatov M.E.**
Fuzzy logic methods in georadar applications
- 178 **Aleinikov S.A., Sorokina S.A., Officerov A.I.**
Method of emotional forecasting in online interviewing
- 188 **Volchkov V.P., Asiryay V.M.**
Weyl – Heisenberg transform capabilities in JPEG compression standard

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

УДК 332.1

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-5-16

Горизонтальные межрегиональные связи в приграничном пространстве европейской части России: состояние и перспективы в период геоэкономической турбулентности

Горочная В.В.

Южный федеральный университет,
Россия, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105;
Балтийский федеральный университет им. И. Канта,
Россия, 236016, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14
E-mail: tunduk@hotmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы горизонтальных связей регионов западного порубежья России, находящегося под воздействием геоэкономической турбулентности. На основе статистических методов анализа динамических рядов ввоза и вывоза ключевых наименований продукции проведена оценка динамики и устойчивости межрегиональных торговых потоков. Выявлена противоречивая картина отсутствия явно выраженных трендов на фоне отдельных случаев интенсификации и ослабления межрегиональных потоков, а также повышения амплитудности осцилляции по различным наименованиям и группам регионов. Идентификация случаев кластерного межрегионального взаимодействия и анализ региональных стратегий выявили лишь единичные случаи в межрегиональной кластеризации и стратегических акцентов на развитии горизонтальных связей в западном порубежье.

Ключевые слова: горизонтальные связи, межрегиональное взаимодействие, межрегиональная торговля, приграничные регионы, геоэкономическая турбулентность, региональные стратегии.

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 18-010-00015 «Модели, эффекты, стратегии и механизмы включения западного порубежья России в систему «горизонтальных» межрегиональных экономических связей в контексте формирования «Большой Евразии»).

Для цитирования: Горочная В.В. 2021. Горизонтальные межрегиональные связи в приграничном пространстве европейской части России: состояние и перспективы в период геоэкономической турбулентности. Экономика. Информатика, 48 (1): 5–16. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-5-16.

Horizontal interregional relations in the border area of the European part of Russia: state and prospects in the period of geo-economic turbulence

Vasilisa V. Gorochnaya

South Federal University, 105 Bolshaya Sadovaya St., Rostov-on-Don, 344022, Russia
I. Kant Baltic Federal University, 14 Aleksandra Nevskogo St., Kaliningrad, 236016, Russia
E-mail: tunduk@hotmail.com

Abstract. The article deals with the problems of interregional horizontal relations in the Western Borderlands of Russia, being under the influence of geo-economic turbulence. While analyzing dynamic series and using official data on the intraregional import and export of key products, the study is to assess the state and

perspectives of interregional trade. It compares 2 four-year periods before and after 2014 as the beginning of the period of geo-economic turbulence. There research indicates contradictory picture: there are no pronounced trends for all regions and product, but there are individual cases of intensification and weakening interregional flows, as well as rapidly increasing oscillation amplitude for various products and regions. It indicates: the intensifying horizontal relations in general, structural shifts in interregional exports and imports, as well as increased competition between regions seeking to occupy their niche in the import substitution sectors at the national market. The strengthening of the production profile of the regions has reflected in their further specialization and the deepening of the territorial division of labor. The increase in the coefficient of variation of dynamic series in many regions indicates the instability of newly formed trade relations, as well as reorientation and changing vector of trade flows. While identifying the inter-regional clusters and analyzing regional strategies, the study revealed only few cases of inter-regional clustering and strategic emphasis on the development of horizontal links in the Western Borderlands.

Keywords: horizontal links, interregional interaction, interregional trade, border regions, geo-economic turbulence, regional strategies

Acknowledgements: the study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, project No. 18-010-00015 «Models, effects, strategies and mechanisms of the inclusion of the western borderlands of Russia in the system of "horizontal" interregional economic relations in the context of the formation of "Greater Eurasia"».

For citation: Gorochnaya V.V. 2021. Horizontal interregional relations in the border area of the European part of Russia: state and prospects in the period of geo-economic turbulence. Economics. Information technologies, 48 (1): 5–16 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-5-16.

Введение

Горизонтальные связи – важнейший структурный компонент, обеспечивающий жизнеспособность и внутреннюю координацию систем [Shafritz et al, 2011]. Горизонтальное межрегиональное взаимодействие в современной науке получило широкое освещение на уровне макрорегионов с развитием трансграничных связей за счёт реализации корпоративных стратегий и межгосударственных торговых соглашений [German, 2016; Gumerov et al, 2016; Kandogan, Hiller, 2018], а также за счёт образования экономических кластеров в рамках трансграничного регионогенеза [Druzhinin et al, 2017], наиболее интенсивного в приморских зонах [Druzhinin, Gorochnaya, 2016]. Однако не менее важен взгляд на горизонтальное взаимодействие регионов во внутреннем экономическом пространстве России. Данная тематика актуализируется за последние годы как в плане обоснования значимости горизонтальных связей для развития социально-экономической системы современной России [Дубровская, 2018; Rubtsov, Litvinenko, 2019], так и в плане разработки теоретических моделей и классификаций форм взаимодействия регионов [Борщик, 2016; Умеренкова, 2018; Sycheva et al, 2019]. Наряду с выявлением роли и степени развития административных контактов, «межрегиональной дипломатии» [Горочная, 2018b; Gontar, 2018], акцентируется роль самоорганизующихся инициатив, в том числе приобретающих форму кластеров [Махотаева, 2017; Горочная, 2019a; Zhigir, 2020]. Развитие межрегиональных связей представляется важным условием, определяющим возможности инвестиционного потенциала [Наумов, 2019] и качество экономического пространства [Аджикова, Школьников, 2016], что в европейской практике за последнее десятилетие уже нашло отражение в категории «политики связности» (cohesion policy) [Regional policy, 2014].

В настоящее время проблемы связности и взаимодействия российских регионов актуальны в свете тенденций геоэкономической турбулентности в системе «Россия – Запад» [Горочная, 2018a], вовлекающей в неустойчивую социально-экономическую динамику всё западное порубежье. Активная включённость порубежных регионов в международные товарно-ресурсные потоки делает их зависимыми от смены режимов трансграничного взаимодействия, следствием чего стала потребность в импортозамещении. Решаемая каждым регионом в отдельности, данная проблема, снижающая уровень экономической безопасности регионов,

требует системного решения с использованием потенциала горизонтальных связей между регионами. Таким образом, представляются актуальными задачи оценки текущего состояния горизонтальных связей регионов западного порубежья России, а также видение перспектив их развития. В настоящее время изучение межрегиональных связей в западном порубежье осуществлено лишь выборочно в отношении отдельных российских регионов. В первую очередь к ним относятся наименее устойчивые к турбулентной динамике регионы Северо-Запада [Бакуменко, 2017], в том числе Псковская область [Махотаева, 2017] и Санкт-Петербург [Zhigir, 2020]. Целью настоящего исследования является комплексный мониторинг текущего состояния и прогноз перспектив развития горизонтальных межрегиональных связей регионов западного порубежья России.

Объект и методы исследования

Объектом исследования выступают особенности динамики горизонтальных межрегиональных связей, реализуемых в процессе противодействия геоэкономической турбулентности после 2014 г. Исследование охватывает западные приграничные регионы России: Мурманскую, Ленинградскую, Псковскую, Калининградскую, Смоленскую, Брянскую, Курскую, Белгородскую, Воронежскую и Ростовскую области, Краснодарский край, республики Карелия и Крым, города Санкт-Петербург и Севастополь.

В процессе оценки и прогнозирования межрегионального взаимодействия уже был разработан и применён ряд методик. К ним относятся: многофакторный перекрёстный анализ конъюнктуры региональных рынков с точки зрения их сбалансированности и структуры [Латыпов, 2008], методы проектирования инновационного межрегионального взаимодействия [Смирнов, 2017] и пространственного моделирования инвестиционного потенциала, в том числе на основе межрегиональных балансов, регрессионного анализа, портфельного анализа [Ускова, Лукин, 2014; Наумов, 2019]. К оценке стратегических перспектив взаимодействия регионов были адаптированы PEST- и SWOT-анализ [Бакуменко, 2017; Sycheva et al, 2019], методика экспертного агентства «РА Эксперт» для выявления потенциала и риска потенциальных регионов-партнёров [Смирнов, 2017]. Однако большинство указанных методик призваны оценить в большей мере потенциал установления и расширения горизонтальных связей между регионами, нежели их текущее состояние и динамику (в том числе реакцию на изменение геоэкономических условий).

Исходя из данного приоритета в настоящем исследовании будут в сочетании применены статистические методы анализа динамических рядов, идентификация межрегиональных кластеров, а также анализ стратегической региональной документации. Эмпирический материал для статистического анализа составляют данные официальной статистики, включая показатели ввоза и вывоза важнейших наименований продукции. Поскольку в системе российской статистики учёт межрегионального ввоза и вывоза продукции производится по каждой категории в абсолютных величинах в натуральном выражении, в целях достижения сопоставимости данных для сравнительного статистического анализа динамических рядов были рассчитаны относительные показатели цепных темпов роста. Для выявления реакции системы торгового межрегионального взаимодействия на смену геоэкономической ситуации в 2014 г. рассчитаны средние темпы роста за четырёхлетние периоды 2011–2014 и 2015–2018. С целью оценки степени подверженности межрегиональной торговли воздействию геоэкономической турбулентной динамики, вызывающей амплитудную осцилляцию, по тем же периодам был рассчитан коэффициент вариации.

Идентификация и изучение опыта межрегиональных кластеров опирается на модели и методы, сформированные в наших предшествующих исследованиях трансграничной кластеризации [Druzhinin, Gorochnaya, 2016; Druzhinin et al, 2017; Горочная, 2018a; Горочная, 2019a]. Выявление собственной позиции регионов при выстраивании системы горизонтальных связей опирается на анализ стратегической документации всех рассматриваемых регионов (в случае смены стратегического документа в ряде регионов анализу подвергаются как оканчивающая своё действие в 2020 г. стратегия, так и проект нового аналогичного докумен-

та). Несмотря на наличие ряда исследований, проводящих аналитику региональных стратегий [Budaeva, Klimanov, 2016; Seliverstov, 2018], в них не акцентируется проблема отражения межрегионального взаимодействия, что потребовало специальной аналитики в данной работе. При комплексной интерпретации результатов исследования учитываются данные, полученные в ходе осуществлённых ранее экспертных опросов [Горочная, 2019а; 2019б].

Результаты и их обсуждение

Анализ статистических данных межрегиональной торговли показал противоречивую картину смены интенсивности и направления товарно-ресурсных потоков. Ещё в первые годы после начала геоэкономической турбулентности наблюдалась тенденция к усилению профильной производственной специализации регионов [Горочная, 2018а], в том числе усилился экспортоориентированный аграрный профиль юго-западных регионов. Данная тенденция отразилась и на межрегиональном экспорте продовольственной продукции: ощутимо возросли темпы роста вывоза мясной продукции из Калининградской, Смоленской, Брянской, Курской, Ростовской областей и Краснодарского края. Возросли темы экспорта сливочного масла из тех же регионов, а также Белгородской и Воронежской областей, исключение составили лишь Ростовская область и Краснодарский край. Ряд регионов прекратили экспорт по отдельным наименованиям – однако этому предшествовал отрицательный прирост до 2014 г., тем самым негативное воздействие экономической турбулентности лишь ускорило естественную тенденцию к снижению межрегиональных поставок. Главным образом, это относится к северным регионам, восполняющим за счёт собственного производства дефицит импорта продовольствия. Дефицит сырной продукции активно восполняется за счёт экспорта из Псковской, Смоленской, Белгородской областей и Краснодарского края на фоне снижения поставок из Ростовской области, утрачивающей позиции на фоне быстрого роста конкурентоспособности продукции других регионов. Наиболее уязвимым сектором в плане регионального экспорта стало производство консервной продукции. Возрастание нестабильности, фиксируемое через повышение вариации, не носит характер общей тенденции: по различным регионам и наименованиям продукции имеет место как повышение, так и снижение показателя, в большинстве случаев его повышенные значения до 2014 г. сохранились и после для тех же регионов (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Межрегиональный экспорт основных продовольственных товаров до и после 2014 года

(рассчитано автором на основе: [Росстат, 2019])

Interregional exports of basic food products before and after 2014

(calculated by the author basing on: [Rosstat, 2019])

| Рег. | Мясо и мясо птицы | | | | Колбасные изделия | | | | Консервы | | | |
|------|------------------------|-------|----------------------|-------|------------------------|-------|----------------------|-------|------------------------|-------|----------------------|-------|
| | средние темпы роста, % | | <i>k</i> вариации, % | | средние темпы роста, % | | <i>k</i> вариации, % | | средние темпы роста, % | | <i>k</i> вариации, % | |
| | до | после | до | после | до | после | до | после | до | после | до | после |
| МО | 92 | - | - | - | 117 | 207 | - | 273 | - | - | - | - |
| РК | 102 | - | 19 | - | 107 | - | - | - | - | - | - | - |
| ЛО | 117 | 102 | 20 | 5 | 99 | 87 | 64 | 10 | 100 | - | - | - |
| СПб | 51 | 65 | 63 | 138 | 120 | 89 | 65 | 2 | 81 | - | - | - |
| ПО | 133 | 106 | 50 | 27 | 98 | 100 | 11 | 19 | 95 | - | - | - |
| КО | 91 | 140 | 183 | 134 | 130 | 987 | 45 | 61 | 107 | 82 | 6 | 10 |
| СО | 127 | 170 | 37 | 474 | 93 | 76 | 44 | 2 | 105 | 91 | 22 | - |
| БрО | 127 | 155 | 22 | 142 | 109 | 133 | 121 | 104 | 191 | 81 | - | - |
| КурО | 108 | 196 | 73 | 149 | 115 | 108 | 70 | 13 | - | - | - | - |
| БО | 119 | 89 | 10 | 15 | 109 | 106 | 68 | 14 | 144 | 252 | - | - |
| ВО | 113 | 100 | 9 | 17 | 108 | 74 | 59 | 20 | 138 | - | - | - |

Окончание табл. 1

| | | | | | | | | | | | | |
|------|-----------------|-----|-----|------|--------------------|-----|-----|------|-----------------------|-----|-----|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| РО | 88 | 152 | 33 | 145 | 103 | 92 | 7 | 40 | - | - | - | - |
| КК | 60 | 137 | 58 | 76 | 95 | 90 | 7 | 10 | - | - | - | - |
| РКр | - | 101 | - | - | - | 120 | - | - | - | - | - | - |
| | Масло сливочное | | | | Масла растительные | | | | Сыры и сырные изделия | | | |
| РК | 98 | 111 | 20 | 41 | 150 | - | - | - | - | - | - | - |
| ЛО | 71 | 82 | 29 | 146 | - | - | - | - | 81 | 77 | 78 | - |
| СПб | 120 | - | 50 | - | - | - | - | - | 100 | - | - | - |
| ПО | 120 | 110 | 50 | 40 | - | - | - | - | 101 | 133 | 9 | - |
| КО | 58 | 120 | - | 41 | 43 | 186 | 140 | 1943 | 118 | 2 | 206 | - |
| СО | 56 | 168 | 63 | 4749 | 348 | - | - | - | 77 | 132 | 16 | 297 |
| БрО | 99 | 126 | 14 | 40 | - | - | - | - | 105 | 117 | 10 | 14 |
| КурО | 117 | 145 | 50 | 135 | 103 | 30 | - | - | 103 | 154 | 66 | 41 |
| БО | 108 | 110 | 10 | 13 | 80 | 117 | 69 | 56 | 95 | 132 | 89 | 62 |
| ВО | 113 | 132 | 22 | 24 | 141 | 102 | 67 | 14 | 106 | 104 | 15 | 12 |
| РО | 192 | 110 | 116 | 306 | 265 | 135 | 619 | 26 | 131 | 97 | 58 | 16 |
| КК | 114 | 90 | 48 | 27 | 121 | 105 | 83 | 8 | 59 | 145 | 45 | 397 |
| РКр | - | 142 | - | 411 | - | - | - | - | - | 317 | - | 9152 |
| | Мука | | | | Крупы | | | | Сахар | | | |
| РК | 36 | - | - | - | 200 | - | - | - | - | - | - | - |
| СПб | 118 | 102 | 35 | 5 | 136 | 114 | - | - | - | - | - | - |
| СО | 126 | - | - | - | 62 | - | - | - | - | - | - | - |
| БрО | 36 | 103 | 22 | 27 | 119 | - | - | - | 139 | - | - | - |
| КурО | 101 | 103 | 8 | 10 | 119 | 86 | 33 | 38 | 104 | 114 | 25 | 26 |
| БО | 225 | 97 | 677 | 11 | 200 | 76 | 598 | - | 92 | 96 | 26 | 16 |
| ВО | 103 | 93 | 69 | 7 | 86 | 96 | 23 | 5 | 110 | 112 | 60 | 20 |
| РО | 127 | 63 | 99 | 107 | 125 | 77 | 75 | 55 | - | - | - | - |
| КК | 107 | 98 | 38 | 93 | 76 | 132 | 41 | 153 | 87 | 103 | 17 | 17 |
| РКр | - | 28 | - | - | - | 726 | - | - | - | - | - | - |

Аналогичная картина наблюдается при анализе динамики межрегионального импорта: на фоне существенного сокращения и нестабильности поставок консервной продукции в большинстве регионов продолжает увеличивать либо сохранять темпы роста импорт мясной (за исключением северных регионов и Курской области) и колбасной (за исключением Псковской области и Санкт-Петербурга) продукции. Наиболее сильно геоэкономические ограничения отразились на растущих темпах межрегионального импорта сырной продукции. Усилилась нестабильность импорта сливочного масла (наиболее остро – в Калининградской, Псковской и Брянской областях) и круп (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Межрегиональный импорт основных продовольственных товаров до и после 2014 года (рассчитано автором на основе: [Росстат, 2019])

Interregional imports of basic food products before and after 2014
(calculated by the author basing on: [Rosstat, 2019])

| Рег. | Мясо и мясо птицы | | | | Колбасные изделия | | | | Консервы | | | |
|------|------------------------|-------|----------------------|-------|------------------------|-------|----------------------|-------|------------------------|-------|----------------------|-------|
| | средние темпы роста, % | | <i>k</i> вариации, % | | средние темпы роста, % | | <i>k</i> вариации, % | | средние темпы роста, % | | <i>k</i> вариации, % | |
| | до | после | до | после | до | после | до | после | до | после | до | после |
| МО | 118 | 92 | 43 | 21 | 86 | 111 | 31 | 173 | 69 | 67 | 29 | 183 |
| РК | 144 | 91 | 68 | 16 | 93 | 97 | 20 | 29 | 51 | 165 | 100 | 1030 |
| ЛО | 82 | 131 | 29 | 5 | 95 | 106 | 20 | 13 | 73 | 89 | 288 | 91 |
| СПб | 129 | 102 | 12 | 13 | 103 | 97 | 8 | 14 | 105 | 93 | 7 | 34 |

Окончание табл. 2

| | | | | | | | | | | | | |
|------|-----------------|-----|------|------|--------------------|-----|------|-----|-----------------------|-----|------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| ПО | 107 | 77 | 28 | 42 | 108 | 98 | 57 | 18 | 127 | 87 | 51 | 26 |
| КО | 124 | 140 | 59 | 66 | 75 | 240 | 34 | 199 | 95 | 121 | 1002 | 109 |
| СО | 122 | 103 | 35 | 22 | 99 | 106 | 5 | 28 | 147 | 88 | 26 | 241 |
| БрО | 144 | 109 | 80 | 23 | 108 | 100 | 18 | 21 | 113 | 66 | 39 | 14 |
| КурО | 112 | 96 | 22 | 9 | 92 | 102 | 20 | 7 | 117 | 47 | 149 | 13 |
| БО | 142 | 123 | 180 | 85 | 103 | 101 | 20 | 21 | 161 | 104 | 1017 | 153 |
| ВО | 125 | 107 | 33 | 15 | 110 | 107 | 9 | 6 | 108 | 89 | 19 | 36 |
| РО | 116 | 105 | 17 | 28 | 107 | 103 | 4 | 4 | 109 | 75 | 122 | 24 |
| КК | 168 | 10 | 38 | 12 | 112 | 105 | 13 | 36 | 109 | 104 | 44 | 26 |
| РКр | - | 417 | - | 2282 | - | 216 | - | 223 | - | 111 | - | 258 |
| Сев. | - | 95 | - | 25 | - | 163 | - | 137 | - | 27 | - | 45 |
| | Масло сливочное | | | | Масла растительные | | | | Сыры и сырные изделия | | | |
| МО | 92 | 97 | 84 | 77 | 67 | 113 | 48 | 30 | 119 | 102 | 30 | 53 |
| РК | 58 | 114 | 55 | 113 | 105 | 111 | 18 | 66 | 65 | 160 | 32 | 260 |
| ЛЮ | 148 | 137 | 206 | 80 | 109 | 114 | 219 | 20 | 227 | 138 | 205 | 57 |
| СПб | 93 | 108 | 17 | 32 | 117 | 123 | 34 | 93 | 102 | 94 | 15 | 18 |
| ПО | 52 | 168 | 269 | 642 | 122 | 161 | 350 | 147 | 100 | 120 | 375 | 55 |
| КО | 87 | 85 | 90 | 1061 | 132 | 85 | 70 | 42 | 92 | 130 | 36 | 56 |
| СО | 145 | 142 | 127 | 14 | 113 | 104 | 50 | 65 | 170 | 121 | 86 | 24 |
| БрО | 137 | 113 | 782 | 540 | 115 | 64 | 640 | 55 | 91 | 124 | 40 | 36 |
| КурО | 122 | 98 | 28 | 38 | 109 | 93 | 83 | 56 | 95 | 109 | 25 | 15 |
| БО | 148 | 115 | 284 | 53 | 115 | 110 | 640 | 142 | 90 | 147 | 5 | 84 |
| ВО | 121 | 107 | 24 | 9 | 93 | 117 | 16 | 24 | 119 | 114 | 75 | 24 |
| РО | 120 | 120 | 26 | 22 | 126 | 115 | 41 | 38 | 103 | 123 | 25 | 94 |
| КК | 106 | 123 | 46 | 15 | 214 | 107 | 1653 | 50 | 112 | 102 | 13 | 10 |
| РКр | - | 208 | - | 223 | - | 124 | - | 115 | - | 198 | - | 174 |
| Сев. | - | 130 | - | 115 | - | - | - | - | - | 237 | - | 695 |
| | Мука | | | | Крупы | | | | Сахар | | | |
| МО | 111 | 110 | 19,1 | 24 | 115 | 99 | 160 | 57 | 94 | 63 | 113 | 111 |
| РК | 104 | 103 | 50,7 | 40 | 83 | 133 | 15 | 42 | 58 | 3 | 66 | 67 |
| ЛЮ | 105 | 131 | 20,1 | 19 | 84 | 114 | 35 | 131 | 140 | 81 | 33 | 140 |
| СПб | 122 | 109 | 24,1 | 29 | 124 | 128 | 97 | 61 | 93 | 99 | 10 | 9 |
| ПО | 98 | 103 | 7,9 | 21 | 87 | 80 | 97 | 143 | 115 | 61 | 117 | 88 |
| КО | 109 | 109 | 31,2 | 18 | 94 | 132 | 52 | 55 | 25 | 158 | 36 | 139 |
| СО | 91 | 133 | 21,8 | 11 | 97 | 72 | 28 | 144 | 79 | 139 | 78 | 197 |
| БрО | 108 | 114 | 33,9 | 15 | 99 | 136 | 34 | 135 | 113 | 46 | 50 | 18 |
| КурО | 133 | 94 | 35,4 | 11 | 110 | 85 | 132 | 124 | 84 | 89 | 51 | 20 |
| БО | 102 | 76 | 11,5 | 34 | 88 | 124 | 38 | 60 | 86 | 111 | 104 | 39 |
| ВО | 107 | 101 | 37,8 | 33 | 135 | 122 | 88 | 54 | 65 | 74 | 108 | 28 |
| РО | 104 | 109 | 22,8 | 20 | 135 | 97 | 27 | 60 | 83 | 126 | 20 | 30 |
| КК | 108 | 115 | 31,7 | 31 | 105 | 105 | 86 | 7 | 98 | 29 | 35 | 197 |
| РКр | - | - | - | - | - | 232 | - | 461 | - | - | - | - |
| Сев. | - | - | - | - | - | 95 | - | 468 | - | - | - | - |

Общей для всех регионов тенденцией стало сокращение межрегионального импорта автомобилей и резкий рост неустойчивости в поставках шин и покрышек на фоне общего увеличения их импорта. Таким образом, возникшая в секторе автотранспорта и его комплектующих потребность в импортозамещении компенсируется межрегиональными поставками, однако устойчивых горизонтальных связей в большинстве случаев не формируется. Наиболее неустойчив межрегиональный импорт в Калининградскую, Псковскую области и Санкт-Петербург (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Межрегиональный импорт автотранспортных средств и их принадлежностей до и после 2014 года (рассчитано автором на основе: [Росстат, 2019])
Interregional imports of motor vehicles and their accessories before and after 2014 (calculated by the author basing on: [Rosstat, 2019])

| Рег. | Автомобили легковые | | | | Шины, покрышки для грузовых автомобилей | | | | Шины, покрышки для легковых автомобилей | | | |
|------|------------------------|-------|----------------------|--------------|---|-------|----------------------|--------------|---|-------|----------------------|--------------|
| | средние темпы роста, % | | <i>k вариации, %</i> | | средние темпы роста, % | | <i>k вариации, %</i> | | средние темпы роста, % | | <i>k вариации, %</i> | |
| | до | после | <i>до</i> | <i>после</i> | до | после | <i>до</i> | <i>после</i> | до | после | <i>до</i> | <i>после</i> |
| МО | 98 | 97 | 21 | 24 | 82 | 92 | 43 | 83 | 115 | 78 | 98 | 35 |
| РК | 103 | 94 | 14 | 27 | 86 | 166 | 85 | 1874 | 139 | 111 | 135 | 48 |
| ЛО | 120 | 94 | 16 | 30 | 83 | 180 | 115 | 613 | 126 | 160 | 570 | 409 |
| СПб | 122 | 100 | 7 | 25 | 104 | 77 | 16 | 53 | 93 | 93 | 26 | 24 |
| ПО | 99 | 98 | 18 | 26 | 50 | 160 | 977 | 1381 | 58 | 140 | 31 | 150 |
| КО | 136 | 105 | 29 | 30 | 32 | 921 | 786 | 84542 | 110 | 176 | 79 | 280 |
| СО | 105 | 91 | 26 | 19 | 76 | 128 | 53 | 1153 | 97 | 106 | 80 | 39 |
| БрО | 109 | 99 | 20 | 33 | 125 | 93 | 73 | 36 | 113 | 87 | 88 | 42 |
| КурО | 99 | 87 | 23 | 24 | 68 | 128 | 109 | 205 | 72 | 101 | 43 | 24 |
| БО | 101 | 96 | 12 | 19 | 107 | 101 | 71 | 66 | 84 | 182 | 498 | 31 |
| ВО | 110 | 99 | 31 | 25 | 110 | 104 | 25 | 26 | 95 | 107 | 12 | 6 |
| РО | 115 | 89 | 13 | 12 | 102 | 75 | 98 | 35 | 97 | 72 | 45 | 69 |
| КК | 105 | 102 | 13 | 30 | 106 | 101 | 39 | 44 | 105 | 123 | 43 | 122 |
| РКр | - | 295 | - | 3555 | - | 279 | - | 4963 | - | 427 | - | 20389 |
| Сев. | - | 424 | - | 1213 | - | - | - | - | - | - | - | - |

В отношении других важных видов непродовольственной продукции следует отметить сохранение либо увеличение темпов роста межрегионального импорта бензина, угля (за исключением Санкт-Петербурга) и пиломатериалов (за исключением Республики Карелия). В целом сохранился импорт проката чёрных металлов и дизельного топлива (за исключением Мурманской, Псковской, Смоленской и Брянской областей). Наиболее уязвимым оказался межрегиональный импорт цементной продукции, сократившийся в большинстве регионов. Возрастание неустойчивости межрегиональных поставок наиболее ощутимо в отношении пиломатериалов (что отражает нестабильность взаимодействия с европейскими поставщиками) и угля (табл. 4).

Таблица 4
Table 4

Межрегиональный импорт важнейших видов энергетических и промежуточных продуктов до и после 2014 года (рассчитано автором на основе: [Росстат, 2019])
Interregional imports of important energy and intermediate products before and after 2014 (calculated by the author basing on: [Rosstat, 2019])

| Рег. | Бензины автомобильные | | | | Топливо дизельное | | | | Уголь | | | |
|------|------------------------|-------|----------------------|--------------|------------------------|-------|----------------------|--------------|------------------------|-------|----------------------|--------------|
| | средние темпы роста, % | | <i>k вариации, %</i> | | средние темпы роста, % | | <i>k вариации, %</i> | | средние темпы роста, % | | <i>k вариации, %</i> | |
| | до | после | <i>до</i> | <i>после</i> | до | после | <i>до</i> | <i>после</i> | до | после | <i>до</i> | <i>после</i> |
| МО | 99 | 98 | 4 | 7 | 115 | 99 | 19 | 11 | 87 | 112 | 15 | 18 |
| РК | 98 | 103 | 9 | 4 | 100 | 105 | 9 | 20 | 79 | 91 | 76 | 56 |
| ЛО | 104 | 103 | 15 | 12 | 115 | 101 | 24 | 25 | 93 | 138 | 21 | 81 |
| СПб | 109 | 103 | 30 | 5 | 98 | 107 | 51 | 11 | 100 | 71 | 198 | 79 |
| ПО | 98 | 99 | 5 | 9 | 103 | 91 | 6 | 14 | 65 | 137 | 15 | 138 |
| КО | 93 | 111 | 17 | 12 | 103 | 100 | 23 | 13 | 77 | 100 | 30 | 55 |

Окончание табл. 4

| | | | | | | | | | | | | |
|------|------------------------|-----|-----|-----|---------------|-----|------|--------|---------------------|-----|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| СО | 80 | 105 | 21 | 20 | 98 | 80 | 10 | 20 | 57 | 151 | 37 | 95 |
| БрО | 89 | 102 | 6 | 10 | 106 | 92 | 30 | 25 | 66 | 125 | 80 | 58 |
| КурО | 95 | 117 | 22 | 9 | 97 | 107 | 32 | 55 | 81 | 112 | 55 | 99 |
| БО | 100 | 106 | 13 | 12 | 93 | 112 | 10 | 12 | 165 | 158 | 822 | 226, |
| ВО | 97 | 106 | 7 | 10 | 88 | 105 | 9 | 21 | 92 | 132 | 152 | 45 |
| РО | 105 | 96 | 17 | 4 | 94 | 97 | 3 | 8 | 72 | 112 | 57 | 358 |
| КК | 107 | 108 | 10 | 9 | 113 | 108 | 14 | 33 | 64 | 175 | 49 | 352 |
| РКр | - | 127 | - | 57 | - | 125 | - | 63 | - | 115 | - | 42 |
| Сев. | - | 33 | - | 79 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Прокат чёрных металлов | | | | Пиломатериалы | | | | Цементная продукция | | | |
| МО | 108 | 112 | 17 | 29 | 106 | 110 | 899 | 32 | 102 | 114 | 30 | 9 |
| РК | 91 | 102 | 7 | 17 | 244 | 101 | 935 | 41 | 128 | 95 | 18 | 13 |
| ЛЮ | 130 | 112 | 28 | 17 | 97 | 86 | 36 | 27 | 83 | 175 | 8 | 313 |
| СПб | 118 | 94 | 25 | 22 | 75 | 125 | 29 | 85 | 109 | 98 | 21 | 8 |
| ПО | 103 | 110 | 50 | 133 | 86 | 140 | 166 | 108 | 126 | 86 | 51 | 20 |
| КО | 163 | 90 | 247 | 44 | 91 | 116 | 60 | 11 | 173 | 150 | 385 | 293 |
| СО | 109 | 106 | 24 | 242 | 109 | 114 | 11 | 33 | 89 | 90 | 20 | 48 |
| БрО | 107 | 99 | 20 | 20 | 20 | 316 | 234 | 4846 | 184 | 75 | 1962 | 40 |
| КурО | 95 | 98 | 20 | 21 | 60 | 182 | 9970 | 49909 | 162 | 98 | 92 | 10 |
| БО | 106 | 111 | 24 | 43 | 55 | 140 | 17 | 70 | 223 | 101 | 267 | 22 |
| ВО | 119 | 105 | 15 | 16 | 92 | 109 | 30 | 36 | 147 | 90 | 43 | 11 |
| РО | 110 | 103 | 27 | 19 | 91 | 95 | 18 | 8 | 116 | 94 | 30 | 11 |
| КК | 98 | 106 | 25 | 8 | 98 | 115 | 18 | 25 | 141 | 107 | 69 | 17 |
| РКр | - | 106 | - | 73 | - | 514 | - | 184743 | - | 42 | - | 225 |
| Сев. | - | 119 | - | 610 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Наряду с отмеченными тенденциями следует отметить и активное включение в процесс межрегиональной торговли Республики Крым и г. Севастополя (в большей мере в качестве импортера). Тем самым для регионального продукта появился дополнительный рынок сбыта.

Идентификация региональных кластеров в регионах Западного порубежья позволила выявить лишь единичные случаи образования межрегиональных кластеров: таковым является фармацевтический кластер, объединяющий участников из Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга. Аналогичный потенциал имеют и другие петербургские кластеры. Отмечены случаи взаимодействия высокотехнологических кластеров Санкт-Петербурга и Ростовской области, а также аналогичных структур Крымского полуострова, однако данные процессы ведомы в большей мере ролью Санкт-Петербурга как крупного центра инновационного роста.

Анализ стратегической документации регионов западного порубежья установил, что в большинстве стратегий необходимость развития межрегиональной кооперации не акцентируется, либо не рассматривается вовсе. В большинстве регионов стратегические приоритеты включают лишь совершенствование транспортной связности с соседствующими регионами, а в Белгородской области также учёт фактора энергетической зависимости от соседних областей и повышение эффективности участия в общероссийском и мировом разделении труда. В Воронежской области учитывается необходимость переориентации с внешнего спроса на внутророссийский, предусмотрено упрочение торговых связей с другими регионами. В стратегии Ростовской области упоминается необходимость взаимодействовать с российским экономическим пространством, так же без конкретизации направлений сотрудничества. Краснодарский край ориентирован на конкурентное взаимодействие с соседствующими регионами вместо кооперации. В Курской и Смоленской областях и Республике Карелия предусмотрен приоритет привлечения инорегиональных инвестиций и кадров, при этом делается ставка на взаимодействие со столичным центром, а соседствующие регионы рассматриваются как конкурирующие за привлечение инвестиций в процессе территориального маркетинга. В новом

проекте стратегии Псковской области близкое расположение к Санкт-Петербургу и активное вовлечение в его «поле притяжения» рассматриваются в качестве угрозы (за счёт оттока квалифицированных кадров и возможности превращения в «сырьевой придаток» крупного центра). В то же время, столичные центры рассматриваются в качестве рынков сбыта регионального продукта, а в качестве одной из задач пространственного развития региона значится создание межрегиональных центров роста.

К немногочисленным регионам, включившим в свою стратегию развитие межрегиональных связей, относится Брянская область: соседствующие и более отдалённые регионы ЦФО рассматриваются в качестве важного рынка сбыта, акцентируются и приоритеты транспортной связности, и торговое и технологическое сотрудничество, подчёркивается равная значимость международного и межрегионального вектора приграничного региона. В стратегии Республики Карелия также заявлено межрегиональное сотрудничество, однако оно ограничивается сферами экологии и туризма. В стратегии Мурманской области заявлено формирование кластеров в арктическом пространстве (с ядром на территории региона, но с участием госкорпораций, инорегиональных компаний и их филиалов). По естественным причинам недавнего включения Республики Крым и г. Севастополя в состав РФ в стратегической документации акцентируются заключённые межрегиональные договорённости в области поставки продовольственных товаров и предоставления рекреационных услуг в качестве стратегического преимущества и основы для дальнейшего регионального развития.

Заключение

Проведённый анализ позволяет идентифицировать общую интенсификацию межрегионального взаимодействия регионов западного побережья, ведомую потребностью в импортозамещении, а потому приводящую и к сдвигам в товарной структуре экспорта и импорта с опережающим ростом товаров-импортозаместителей и «сворачиванием» поставок продукции, востребованной на внутрорегиональном рынке. При этом ранее сложившаяся структура горизонтальных торговых связей остаётся относительно устойчивой, но активный рост и формирование новых хозяйственных связей происходит стихийно и подвержен амплитудным колебаниям по отдельным регионам и наименованиям товаров. Можно прогнозировать в ближайший период постепенную стабилизацию и упрочение новых контрактных и логистических схем межрегионального взаимодействия, а также дальнейшее усиление территориального разделения труда, в особенности в сфере агропроизводства. Активная позиция по завоеванию стратегических ниш на внутреннем рынке способствует усилению и ужесточению межрегиональной конкуренции, как и борьба за привлечение инвесторов и внимание федерального центра. Однако отдельные регионы (Воронежская, Брянская, Мурманская области) осознают значимость освоения соседствующих внутрirosсийских ареалов как потенциального рынка, равно как и необходимость постоянной переориентации с внешнего спроса на внутренний в условиях приграничного положения и внешней нестабильности.

Список источников

1. Росстат. 2019. Регионы России. Социально-экономические показатели. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (22.10.2020).
2. Regional policy. 2014. European comissiion [Электронный ресурс]: URL: http://ec.europa.eu/regional_policy/what/future/index_en.cfm (по состоянию на 14.12.2016).

Список литературы

1. Аджигова А.С., Школьников Н.Н. 2016. Интеграция регионов и качество экономического пространства. Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 3: Экономика. Экология, 2 (35):18–26.
2. Бакуменко О.А. 2017. Проблемы и перспективы межрегионального взаимодействия периферийных регионов Северо-Западного федерального округа. Региональная экономика: теория и практика, 3 (15): 459–467.

3. Борщик Н.Д. 2016. Межрегиональные связи субъектов Российской Федерации: теория и практика. Политика, экономика и инновации, 3: 2.
4. Дубровская Ю.В. 2018. Систематизация подходов к обоснованию роли межрегионального взаимодействия в развитии социально-экономических систем. Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки, 4: 197–206.
5. Горочная В.В. 2018а. Турбулентность в геоэкономике: методический подход к моделированию воздействия на экономическую динамику порубежного региона. Экономика устойчивого развития, 4 (36): 136–142.
6. Горочная В.В. 2018б. Факторы, форматы и векторы формирования «горизонтальных» межрегиональных связей в западном порубежье России. Региональная экономика и управление: электронный научный журнал, 4 (56): 16.
7. Горочная В.В. 2019а. Процессы горизонтальной межрегиональной интеграции: самоорганизующаяся природа, моделирование, оценка. Экономика устойчивого развития, 4 (40): 81–93.
8. Горочная В.В. 2019б. Экономическая безопасность Ростовской области в условиях геоэкономической турбулентности: опыт экспертного эмпирического обследования. В кн.: Балтийский регион – регион сотрудничества – 2019. Материалы III международной научно-практической конференции. Калининград, Изд-во БФУ им. И Канта: 169–181.
9. Латыпов Р.А. 2008. Конъюнктурный анализ и прогноз развития межрегиональных рынков страны. Вестник Казанского технологического университета, 5: 250–257.
10. Махотаева М.Ю. 2017. Межрегиональное отраслевое взаимодействие Псковской области: кластерный подход. Сервис в России и за рубежом, 7(77): 32–45.
11. Наумов И.В. 2019. Исследование межрегиональных взаимосвязей в процессах формирования инвестиционного потенциала территорий методами пространственного моделирования. Экономика региона, 3: 720–735.
12. Смирнов В.В. 2017. Проектирование инновационного межрегионального экономического пространства. Инновации, 4 (222): 70–80.
13. Умеренкова Г.Ю. 2018. Формы межрегионального сотрудничества: характеристика и особенности функционирования. Политика, экономика и инновации, 6 (23): 2.
14. Ускова Т.В., Лукин Е.В. 2014. Межрегиональное сотрудничество: оценка и перспективы развития. Проблемы прогнозирования, 5(146): 119–131.
15. Budaeva K.V., Klimanov V.V. 2016. Content and retrospective analysis of regional strategizing in Russia. *Regional Research of Russia*, 6(2): 175–183.
16. Druzhinin A.G., Gorochnya V.V., Gontar N.V., Dets I.A., Lachininskiy S.S., Mikhailov A.S. 2017. Transboundary clusters in the coastal zones of the European part of Russia: inventory, typology, factors, and prospects. Vol. 9, 4: 21–32.
17. Druzhinin A.G., Gorochnaya V.V. 2016. Economic clusterization and complexation: the specificity of the coastal zones of the south of Russia. *Journal of Applied Economic Sciences*. Vol. 11, 6: 1017–1025.
18. German T. 2016. *Regional Cooperation in the South Caucasus: Good Neighbours Or Distant Relatives?* London, Routledge Press. 208 p.
19. Gontar N.V. 2018. Interregional Integration in Russia: Institutions and State Administration. *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya 3, Ekonomika, Ekologiya*, 20(3): 14–24.
20. Gumerov A.V., Ryabinina E.N., Minsabirova V.N., Temirbulatov R.R., Mitrofanova M.Y., Litvinova E.M., Kharisova G.M. 2016. The analysis of regional development on the basis of corporate structures' activity. *International Review of Management and Marketing*, 6 (1): 101–105.
21. Kandogan Y., Hiller J. 2018. Alliances in international governmental organizations, regional trade agreement formation, and multinational enterprise regionalization strategy. *Journal of International Business Studies*, 49 (6): 729–742.
22. Rubtsov G.G., Litvinenko A.N. 2019. Role of inter-regional cooperation in modern regional economy of Russian Federation. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 75 (1): 97–110.
23. Seliverstov, V.E. 2018. Strategic planning and strategic errors: Russian realities and trends. *Regional Research of Russia*, 8(1): 110–120.
24. Shafritz J., Ott J., Jang Y. 2011. *Classics of organization theory*. Boston, Wadsworth, MA. 543 p.
25. Sycheva I.N., Miheeva N.M., Ivanova N.E., Dunets A.N., Gabdulkhakov R.V., Nemtsev V.N. 2019. Organizational and economic forms of cross-border cooperation of a region. *Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(2): 1395–1407.

26. Zhigir A. 2020. Organization of St. Petersburg cluster projects as a mechanism for increasing competitiveness of Russian enterprises. In: *Збірник наукових праць*. Logos Press: 29–33.

References

1. Adzhikova A.S., Shkol'nikova N.N. 2016. Integratsiya regionov i kachestvo ekonomicheskogo prostranstva. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta*. Ser. 3: *Ekonomika. Ekologiya*, 2(35):18–26 (in Russian).
2. Bakumenko O.A. 2017. Problemy i perspektivy mezhregional'nogo vzaimodeystviya periferiynykh regionov Severo-Zapadnogo federal'nogo okruga. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*, 3 (15): 459–467 (in Russian).
3. Borshchik N.D. 2016. Mezhhregional'nye svyazi sub"ektov Rossiyskoy Federatsii: teoriya i praktika. *Politika, ekonomika i innovatsii*, 3: 2 (in Russian).
4. Dubrovskaya Yu.V. 2018. Sistematizatsiya podkhodov k obosnovaniyu roli mezhregional'nogo vzaimodeystviya v razvitii sotsial'no-ekonomicheskikh sistem. *Vestnik PNIPU. Sotsial'no-ekonomicheskie nauki*, 4: 197–206 (in Russian).
5. Gorochnaya V.V. 2018a. Turbulence in geo-economics: methodical approach to modeling the impact on the economic dynamics of a border region. *Economics of sustainable development*, 4 (36): 136–142 (in Russian).
6. Gorochnaya V.V. 2018b. Factors, formats and vectors of formation of "horizontal" interregional relations in the border regions of western Russia. *Regional economy and management: electronic scientific journal*, 4 (56): 16 (in Russian).
7. Gorochnaya V.V. 2019a. Horizontal interregional integration processes: self-organizing nature, modeling, evaluation. *Economics of sustainable development*, 4 (40): 81–93 (in Russian).
8. Gorochnaya V.V. 2019b. Ekonomicheskaya bezopasnost' Rostovskoy oblasti v usloviyakh geoeconomicheskoy turbulentnosti: opyt ekspertnogo empiricheskogo obsledovaniya. V kn.: *Baltiyskiy region - region sotrudnichestva – 2019. Materialy III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Kaliningrad, Izd-vo BFU im. I Kanta: 169–181 (in Russian).
9. Latypov R.A. 2008. Kon"yunktorny analiz i prognoz razvitiya mezhregional'nykh rynkov strany. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 5: 250–257 (in Russian).
10. Makhotaeva M.Yu. 2017. Mezhhregional'noe otraslevoe vzaimodeystvie Pskovskoy oblasti: klasternyy podkhod. *Servis v Rossii i za rubezhom*, 7(77): 32–45 (in Russian).
11. Naumov I.V. 2019. Issledovanie mezhregional'nykh vzaimosvyazei v protsessakh formirovaniya investitsionnogo potentsiala territorii metodami prostranstvennogo modelirovaniya. *Ekonomika regiona*, 3: 720–735 (in Russian).
12. Smirnov V.V. 2017. Proektirovanie innovatsionnogo mezhregional'nogo ekonomicheskogo prostranstva. *Innovatsii*, 4 (222): 70–80.
13. Umerenkova G.Yu. 2018. Formy mezhregional'nogo sotrudnichestva: kharakteristika i osobennosti funktsionirovaniya. *Politika, ekonomika i innovatsii*, 6 (23): 2 (in Russian).
14. Uskova T.V., Lukin E.V. 2014. Mezhhregional'noe sotrudnichestvo: otsenka i perspektivy razvitiya // *Problemy prognozirovaniya*, 5(146): 119–131 (in Russian).
15. Budaeva K.V., Klimanov V.V. 2016. Content and retrospective analysis of regional strategizing in Russia. *Regional Research of Russia*, 6(2): 175–183.
16. Druzhinin A.G., Gorochnaya V.V., Gontar N.V., Dets I.A., Lachininskiy S.S., Mikhailov A.S. 2017. Transboundary clusters in the coastal zones of the European part of Russia: inventory, typology, factors, and prospects. Vol. 9, 4: 21–32.
17. Druzhinin A.G., Gorochnaya V.V. 2016. Economic clusterization and complexions: the specificity of the coastal zones of the south of Russia. *Journal of Applied Economic Sciences*. Vol. 11, 6: 1017–1025.
18. German T. 2016. *Regional Cooperation in the South Caucasus: Good Neighbours Or Distant Relatives?* London, Routledge Press. 208 p.
19. Gontar N.V. 2018. Interregional Integration in Russia: Institutions and State Administration. *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya 3, Ekonomika, Ekologiya*, 20(3): 14–24.
20. Gumerov A.V., Ryabinina E.N., Minsabirova V.N., Temirbulatov R.R., Mitrofanova M.Y., Litvinova E.M., Kharisova G.M. 2016. The analysis of regional development on the basis of corporate structures' activity. *International Review of Management and Marketing*, 6 (1): 101–105.
21. Kandogan Y., Hiller J. 2018. Alliances in international governmental organizations, regional trade agreement formation, and multinational enterprise regionalization strategy. *Journal of International Business Studies*, 49 (6): 729–742.

22. Rubtsov G.G., Litvinenko A.N. 2019. Role of inter-regional cooperation in modern regional economy of Russian Federation. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 75 (1): 97–110.
23. Seliverstov, V.E. 2018. Strategic planning and strategic errors: Russian realities and trends. *Regional Research of Russia*, 8(1): 110–120.
24. Shafritz J., Ott J., Jang Y. 2011. *Classics of organization theory*. Boston, Wadsworth, MA. 543 p.
25. Sycheva I.N., Miheeva N.M., Ivanova N.E., Dunets A.N., Gabdulkhakov R.V., Nemtsev V.N. 2019. Organizational and economic forms of cross-border cooperation of a region. *Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(2): 1395–1407.
26. Zhigir A. 2020. Organization of St. Petersburg cluster projects as a mechanism for increasing competitiveness of Russian enterprises. In: *Zbirnik naukovikh prats'*. Logos Press: 29–33.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Горочная Василиса Валерьевна, кандидат экономических наук, специалист по учебно-методической работе Академии психологии и педагогики Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Россия; научный сотрудник Института природопользования, территориального развития и градостроительства Балтийского федерального университета им. И. Канта, г. Калининград, Россия; заведующая научным отделом, доцент кафедры продюсерства исполнительских искусств Ростовской государственной консерватории им. С.В. Рахманинова, г. Ростов-на-Дону, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vasilisa V. Gorochnaya, Candidate of Economic Sciences, Specialist on educational-methodic work at Academy of Psychology and Educational Sciences, South Federal University, Rostov-on-Don, Russia; Research fellow at Institute of Environmental Management, Urban Development and Spatial Planning, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia; Head of the Research Department, associate Professor at the Department of Performing Arts Production Rostov State S.V. Rachmaninov Conservatoire, Rostov-on-Don, Russia

УДК 338.24

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-17-24

Подходы к управлению гибкостью системы высшего образования на основе учета социально-экономических особенностей регионов

Макарова Е.Л.

Южный федеральный университет
Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42
E-mail: elmakarova@sfedu.ru

Аннотация. Методический подход к управлению отношениями «университет-бизнес-государство» по принципу «тройной спирали» обуславливает проведение исследования, определяющее и оценивающее эффективность взаимодействия высшего образования с субъектами экономики на региональном уровне и его роль в экономическом развитии региона. В ходе исследования автором были предложены рекомендации для разработки методики к реализации региональной политики по снижению асимметрии в региональных системах высшего образования и повышению их гибкости на основе учета социально-экономических особенностей регионов.

Ключевые слова: управление экономическими системами, тройная спираль, управление гибкостью, система высшего образования, социально-экономическая система, особенности регионов, региональная политика, сбалансированное развитие.

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проект № 18-010-01115 «Разработка методологии и инструментария оценки эффективности функционирования региональной системы высшего образования и моделирование ее сбалансированного развития».

Для цитирования: Макарова Е.Л. 2021. Подходы к управлению гибкостью системы высшего образования на основе учета социально-экономических особенностей регионов. Экономика. Информатика, 48 (1): 17–24. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-17-24.

Approaches to managing the flexibility of the higher education system taking into account the socio-economic features of regions

Elena L. Makarova

Southern Federal University
105/42 Bolshaya Sadovaya St, Rostov-on-Don, 344006, Russia
E-mail: elmakarova@sfedu.ru

Abstract. As theoretical principles of management, the main aspects of substantiating the ideal or normatively balanced modeling of higher education institutions relationship, taking into account the needs of the region, were investigated and systematized in order to reduce the asymmetry in regional higher education systems and increase their flexibility based on taking into account the socio-economic characteristics of the regions. The study is devoted to the development of a methodology and tools for determining the socio-economic efficiency for regional systems of higher education, modeling the balanced development of higher education institutions, taking into account the needs of the region and developing recommendations to improve their efficiency. During research, the author proposed guidelines for the development of methodical approaches to the implementation of regional policy to reduce asymmetry in regional higher education systems and increase their flexibility based on taking into account the socio-economic characteristics of the regions.

Keywords: management of economic systems, triple helix, flexibility management, higher education system, socio-economic system, peculiarities of regions, regional policy, balanced development.

Acknowledgements: the research was supported within the grant provided by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project no. 18-010-01115 “Development of methodology and tools for assessing the effectiveness of regional higher education system and modelling its balanced development”.

For citation: Makarova E.L. 2021. Approaches to managing the flexibility of the higher education system taking into account the socio-economic features of regions. *Economics. Information technologies*, 48 (1): 17–24 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-17-24.

Введение

В современном мире система высшего образования способствует региональному развитию тремя способами: во-первых, существует набор традиционно определенных преимуществ, таких как рост населения региона, увеличение спроса сферы услуг. Питание и жилье, повышение цен, увеличение расходов населения и другие сопутствующие социально-экономические процессы [Фирсова, Нархова, 2014]. Во-вторых, есть неявные выгоды, широко связанные с ростом «экономики знаний» [Powel, Snellman, 2004], где прирост знаний региона включает в себя материальные (количественные) и нематериальные (качественные) преимущества. Такого рода выгоды связаны с обучением и передачей знаний и профессиональной подготовкой высококвалифицированных специалистов, которые могут происходить в регионе [Федоляк, 2018]. В-третьих, поскольку такие концепции, как «обучающиеся» регионы [Morgan, 1997], предлагают гибкие и инновационные меры реагирования на быстро меняющуюся экономику, существует предположение, что система высшего образования прямо или косвенно становится частью системы взаимосвязи институтов высшего образования с учетом потребностей региона [Fonseca et al., 2020], необходимых для стимулирования такого рода образовательных программ. Эти преимущества потенциально позволяют университетам вносить не только большой вклад в развитие своего региона, но и стратегически позиционировать этот регион как передовой в «экономике знаний».

Методический подход, изложенный в этом исследовании, разрабатывает основу для создания методологии и инструментария при определении социально-экономической эффективности региональных систем высшего образования, а также моделирования сбалансированного развития институтов высшего образования с учетом потребностей региона по принципу «тройной спирали» [Etzkowitz, 2008]. Данный методический подход нацелен на разработку рекомендаций по повышению эффективности системы высшего образования обучающегося региона к экономическому развитию, что обеспечивает динамическую основу для стимулирования инноваций и развития предпринимательства, как отличительного признака экономической устойчивости в постиндустриальной экономике.

Методология исследования

При разработке рекомендаций по повышению эффективности функционирования региональных систем высшего образования и управлению гибкостью на основе учета социально-экономических особенностей регионов необходимо учитывать пять основных аспектов обоснования идеальной или нормативно сбалансированной модели взаимосвязи институтов высшего образования с учетом потребностей региона.

Теоретическое ядро модели взаимосвязи институтов высшего образования с ключевыми субъектами в регионе включает в себя рассмотрение поведения сложных социально-экономических систем, анализа динамики сбалансированного развития данных триад, разработки и обоснования управленческих решений для обеспечения устойчивого социально-экономического развития региона на основании принципа необходимости. При моделировании взаимосвязи институтов высшего образования с учетом потребностей региона в элемент модели также привносят склонность к инновациям, особенно в области организационных инноваций и изобретения новых организационных форматов. Модель взаимосвязи институтов высшего образования с учетом потребностей региона в своей первоначальной разработке фокусируется на взаимных отношениях / взаимодействиях между тремя субъек-

тами: системой высшего образования, социальной и экономической системами региона [Ogurtsova et al., 2018].

Основной механизм, лежащий в основе взаимодействия модели взаимосвязи институтов высшего образования с ключевыми субъектами в регионе, как оптимального условия по снижению асимметрии в региональных системах высшего образования и повышению их гибкости на основе учета социально-экономических особенностей регионов, предполагает выполнение субъектами взаимодействия новых функций наряду с традиционными. Учреждения, выполняющие нетрадиционные функции, рассматриваются, как главный потенциальный источник инноваций в регионе. Например, субъекты бизнес-сообщества продолжают производить товары и услуги, а также финансируют научно-исследовательскую деятельность и проводят непрерывное обучение своих специалистов. Субъекты государственного управления несут ответственность за устранение сбоев рыночного механизма региона, корректировку государственной политики и установление рыночных правил региона, а также предоставляют венчурный капитал для финансирования предприятий инновационного сектора, особенно для предприятий с высоким уровнем риска. Университеты сохраняют свою традиционную роль в обучении и проведении исследований, а также прилагают усилия для капитализации знаний, патентов и создания инновационных предприятий региона [Мурашова и др., 2016]. В действительности все большее число университетов развивают сложную инновационную систему, начиная с офисов передачи технологий, бизнес-инкубаторов и научных парков, заканчивая международными исследованиями и обучению основам ведения бизнеса на территории кампуса. Реализация современными университетами образовательной, научно-исследовательской и социальной функций становится значимой составляющей экономического роста региона. В исследовании были выявлены количественные показатели, позволяющие оценить функциональную структуру и динамику систем высшего образования региона при выполнении образовательной и научной функций, включая региональное партнерство. Показано, что общая эффективность функционирования социально-экономической системы состоит из двух элементов: 1) эффективности функционирования каждой подсистемы; 2) степени согласованности подсистем [Огурцова, Челнокова, 2018]. Определение состояния региональных систем высшего образования было представлено с помощью показателя эффективности на основе резервов (SBM), который является вариантом анализа охвата данных (DEA) [Фирсова, Чернышова, 2019]. Данный метод оболочечного анализа данных позволяет строить границу эффективности выборки регионов, оценивая региональную систему высшего образования. Полученный рейтинг дает возможность объективного принятия решений по повышению эффективности функционирования региональных систем высшего образования и повышению их гибкости на основе учета социально-экономических особенностей регионов.

Эволюционные механизмы лежат в основе развития модели «тройной спирали». Однако модели взаимосвязи институтов высшего образования с ключевыми субъектами в регионе не является результатом самоорганизованной эволюции; скорее, процесс разработки должен быть предварительно структурирован и скоординирован с учетом региональной инновационной политики [Cai, Liu, 2020]. Согласно исследованиям Ю. Каи и Г. Ицковица [Cai, Etzkowitz, 2020], замечено, что спирально развивающаяся модель взаимосвязи институтов высшего образования с ключевыми субъектами в регионе представляет собой «синтез эволюции по вертикальной оси и циркуляции по горизонтали» [Etzkowitz, 2008]. Выполнение новых функций субъектами взаимодействия в основном отражает горизонтальную циркуляцию с точки зрения наблюдаемых действий, оно приводит к эволюции каждой из трех систем (региональная система высшего образования, социальная и экономическая системы) по вертикальной оси и модели их взаимодействия. Г. Ицковиц [Etzkowitz, Leydesdorff, 2000] и Л. Лейдесдорф [Leidesdorff, 2012], соответственно, используют неинституциональную теорию и неэволюционную теорию при понимании эволюционных механизмов. С точки зрения институциональной теории, поскольку среда, то есть модели вза-

имодельствий тройной спирали между субъектами системы высшего образования, бизнес-сообществом и органами государственной власти на региональном или государственном уровне, могут со временем изменяться, сущность организации трех секторов может трансформироваться вместе с изменениями окружающей среды. С эволюционной точки зрения три функции (экономическое состояние, производство знаний и нормативный контроль) являются тремя эволюционными механизмами.

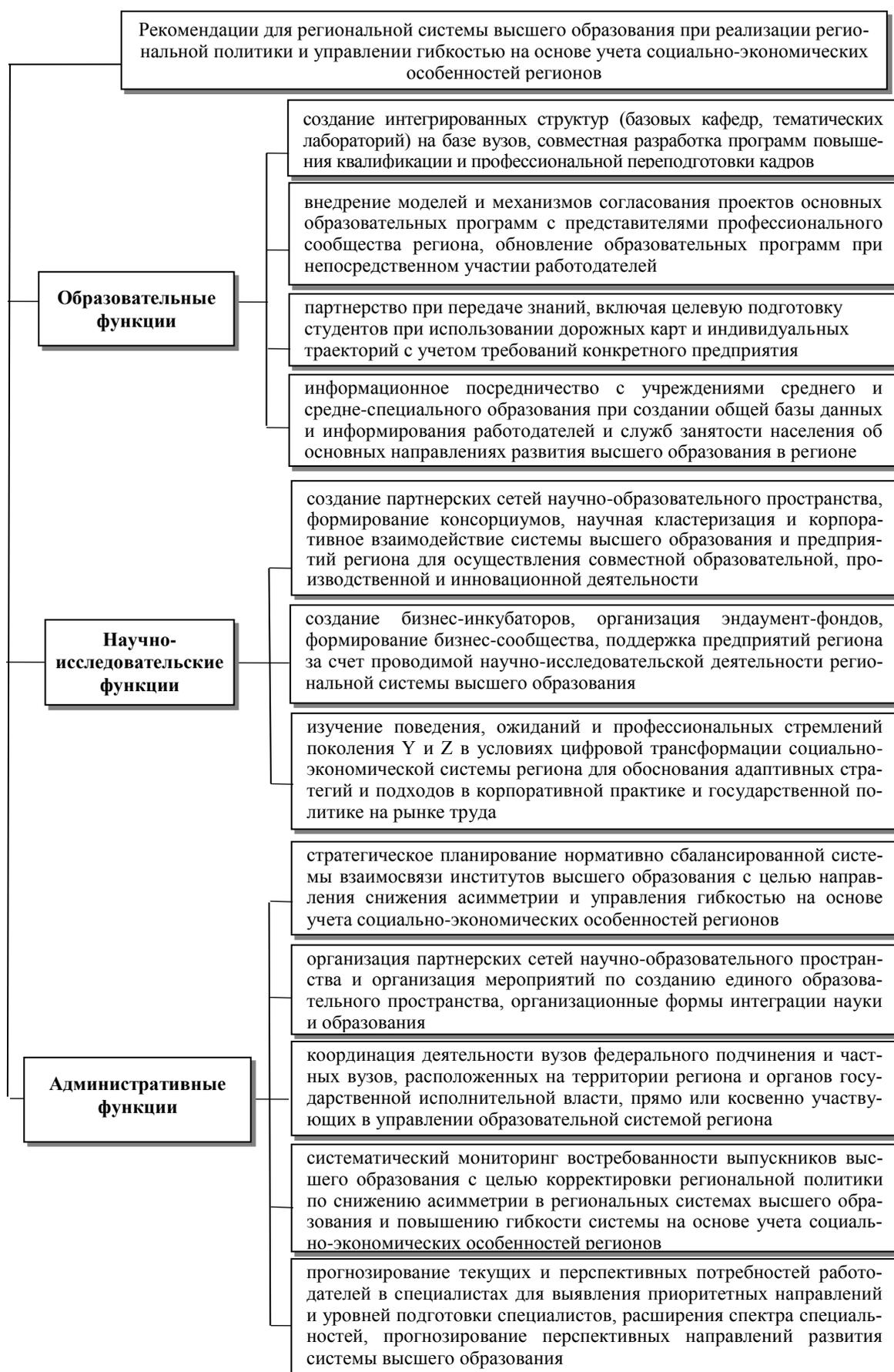
Диагностика состояния конгруэнтности взаимосвязи субъектов региональной системы высшего образования и социально-экономической системой и моделирование сбалансированного развития «тройной спирали» с учетом потребностей региона заключается в том, чтобы задействовать функциональные механизмы управления, посредничающие между нисходящими и восходящими инициативами. Роль законодательной власти заключается в разработке инновационной политики и инициировании приоритетных инновационных программ на региональном уровне. Однако динамика модели также опирается на инициативы снизу-вверх, которые сочетаются с «активным гражданским обществом, в котором инициативы поощряются различными частями общества» [Etzkowitz, 2008]. При проведении исследования была обоснована процедура диагностики сбалансированного развития региональных систем высшего образования с учетом потребностей региона с помощью когнитивного моделирования, включая разработку когнитивной модели; исследование свойств сложной слабоструктурированной системы; разработку сценарного анализа; и корректировку когнитивной модели выбранного региона [Макарова, 2018].

Для создания оптимальных условий по повышению эффективности функционирования региональных систем высшего образования необходима активация лидерства со стороны индивидуумов и организаций, пользующихся уважением всех ключевых игроков региона. Также инновационный потенциал как необходимое условие заключается в наличии и способности создать базу знаний с потенциалом коммерциализации. Это может быть подтверждено традиционными показателями исследований и разработок, такими как расходы бизнес-предприятий на НИОКР и валовые внутренние расходы на исследования и разработки, дополненные зарегистрированными патентами, доступом к информации и другими показателями инновационного потенциала базы знаний региона [Cai, Etzkowitz, 2020].

Основные результаты исследования

Результаты исследования позволяют предложить направления совершенствования и повышения эффективности системы высшего образования с целью снижения асимметрии в региональных системах и повышения их гибкости на основе учета социально-экономических особенностей регионов [Сучков, Ревин 2012; Иванова, 2012]. Конгруэнтность взаимосвязи субъектов региональной системы высшего образования и социально-экономической системы включает несколько направлений (рисунок).

Управление гибкостью позволит руководству высшего учебного заведения генерировать и реализовывать инновационные проекты, коммерциализировать новые идеи, фокусирующиеся на повышении эффективности деятельности социально-экономической системы региона. Управление гибкостью региональной системы высшего образования характеризует способность руководства к быстрой перестройке управленческого воздействия всей его системы, принятию управленческих решений и быстрая адаптация к сложившимся социально-экономическим обстоятельствам ради поддержания инновационной активности высшего учебного заведения и наращивания конкурентоспособности региона с целью создания сбалансированной системы взаимосвязи институтов высшего образования с учетом потребностей региона с целью направления снижения асимметрии и управления гибкостью на основе учета социально-экономических особенностей регионов.



Направления реализации региональной политики на основе учета социально-экономических особенностей регионов

Directions for the implementation of regional policy taking into account the socio-economic characteristics of the regions

Заключение

Ожидается, что региональная система высших учебных заведений будет играть ключевую роль в выработке конкретных решений и стратегий, направленных на преодоление динамичных и сложных факторов, подпитывающих кризис устойчивости при реализации региональной политики и управлении гибкостью на основе учета социально-экономических особенностей регионов [Мингалева, 2019]. Чтобы оправдать это ожидание, важно, чтобы образовательные, научно-исследовательские и управленческие функции были легко интегрированы в развитие нормативно сбалансированной системы взаимосвязи институтов высшего образования, которая развивается и усиливается в процессе институционализации [Yarime et al. 2012]. С этой целью использование региональной системы высшего образования в качестве платформы для социально-экономических экспериментов посредством сотрудничества и взаимодействия между академическими кругами, бизнес-сообществом и административным управлением региона позволит внести вклад в моделирование сбалансированного развития региона с учетом его потребностей по принципу «тройной спирали».

Список литературы

1. Иванова М.В. 2012. Организационные аспекты взаимодействия органов государственной власти в сфере управления высшим профессиональным образованием с вузами региона. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/328173317_Organizacionnye_aspekty_vzaimodejstvia_organov_gosudarstvennoj_vlasti_v_sfere_upravlenia_vyssim_professionalnym_obrazovaniem_s_vuzami_regiona (Дата обращения: 10.11.2020).
2. Макарова Е.Л. 2018. Когнитивное моделирование сбалансированного развития региональных систем высшего образования с учетом потребностей региона. Вестник Пермского университета. Серия «Экономика». 13. 4: 516–531. doi: 10.17072/1994-9960-2018-4-516-531.
3. Мингалева Ж.А. 2019. Соответствие региональной сферы образования задачам формирования профессиональных компетенций и целям устойчивого развития общества (на материалах Пермского края). Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. 4. [Электронный ресурс] URL: <https://eee-region.ru/article/6018/> (дата обращения: 07.09.2020).
4. Мурашова Е.В., Логинова В.А., Евтушок М.В. 2016. Развитие модели тройной спирали в инновационной экономике: опыт Китая и России. Вестник тихоокеанского государственного университета. 4 (43): 161–170.
5. Огурцова Е.В., Челнокова О.Ю. 2018. Оценка реализации базовых функций региональных систем высшего образования. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Экономика. Управление. Право, 18 (2): 169–175. doi: 10.18500/1994-2540-2018-18-2-169-175.
6. Сучков Г.В., Ревин И.А. 2012. Сетевое взаимодействие вузов, бизнес-сообщества и социальных институтов в условиях модернизации региональной экономики и системы профессионального образования. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 3: 117–122.
7. Федоляк В.С. 2018. Несоответствие рынка образовательных услуг требованиям рынка труда: причины и способы преодоления. Профессиональная ориентация. 2: 49–53.
8. Фирсова А.А., Нархова А.А. 2014. Зарубежные подходы к оценке влияния университета на региональное развитие. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия. Экономика. Управление. Право 14. 2(1): 289–294.
9. Фирсова А.А., Чернышова Г.Ю. 2019. Математические модели для оценки функций систем высшего образования средствами DEA. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Математика. Механика. Информатика. 19(3): 351–362. doi: 0.18500/1816-9791-2019-19-3-351–362.
10. Cai Y., Etkowitz H. 2020. Theorizing the Triple Helix model: Past, present, and future. Triple Helix 6(1) :1–38. doi:10.1163/21971927-bja10003.
11. Cai Y., Liu, C. 2020. The Role of University as Institutional Entrepreneur in Regional Innovation System: Towards an Analytical Framework. In: M.T. Preto, A. Daniel, and A. Teixeira, eds. Examining the Role of Entrepreneurial Universities in Regional Development. Hershey. PA: IGI Global. 133–155.
12. Etkowitz H. 2008. The Triple Helix: University–Industry–Government Innovation in Action. New York/London: Routledge.

13. Etzkowitz H., Leydesdorff L. 2000. The Dynamics of Innovation: From National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of University–Industry–Government Relations. *Research Policy*. 29 (2): 109–123. doi: 10.1016/S0048-7333(99)00055-4.
14. Etzkowitz, H. (2008). *The Triple Helix: University–Industry–Government Innovation in Action*. New York/London: Routledge.
15. Fonseca L., Rodrigues C., Capelleras J-L. 2020. The organizational adaptation of universities to smart specialization: the emergence of strategic network interface units. *European Planning Studies*. doi: 10.1080/09654313.2020.1854188
16. Leydesdorff L. 2012. The Triple Helix, Quadruple Helix, ..., and an N-Tuple of Helices: Explanatory Models for Analyzing the Knowledge-Based Economy? *Journal of the Knowledge Economy*. 3(1): 25–35. doi: 10.1007/s13132-011-0049-4.
17. Morgan K. 1997. The learning region: Institutions, innovation and regional renewal. *Regional Studies*. 31: 491–503. doi: 10.1080/00343 40975 0132289.
18. Ogurtsova E., Firsova A., Chelnokova O. 2018. Regional higher education systems and sustainable regional economic development: functional approach. *Proceedings of the International Scientific Conference "Competitive, Sustainable and Secure Development of the Regional Economy: Response to Global Challenges" (CSSDRE 2018)*. Part of series: *Advances in Economics, Business and Management Research (AEBMR)*. 39: 618–622 doi: 10.2991/cssdre-18.2018.126.
19. Powel W.W., Snellman K. 2004. The Knowledge Economy. *Annual Review of Sociology* 30(1): 199-220 doi: 10.1146/annurev.soc.29.010202.100037.
20. Yarime M., Trencher G., Mino T. et al. 2012. Establishing sustainability science in higher education institutions: towards an integration of academic development, institutionalization, and stakeholder collaborations. *Sustain Sci* 7: 101–113. <https://doi.org/10.1007/s11625-012-0157-5>.

References

1. Ivanova M.V. 2012. Organizational aspects of interaction of government bodies in the sphere of management of higher professional education with universities of the region. URL: https://www.researchgate.net/publication/328173317_Organizacionnye_aspekty_vzaimodejstvia_organov_gos_udarstvennoj_vlasti_v_sfere_upravleniya_vyssim_professionalnym_obrazovaniem_s_vuzami_regiona (data obrashcheniya: 10.11.2020). (in Russian)
2. Makarova E.L. 2018. Cognitive modeling of balanced development of regional system of higher education subject to the needs of a region. *Perm University Herald. Economy*. 13. 4: 516–531. doi: 10.17072/1994-9960-2018-4-516-531. (in Russian)
3. Mingaleva Z.A. 2019. Relevance of the regional sphere of education to the tasks of forming professional competencies and the goals of sustainable development (based on materials from the perm territory). *Regional economics and management: electronic scientific journal*. 4. URL: <https://eee-region.ru/article/6018/> (data obrashcheniya: 07.09.2020). (in Russian)
4. Murashova E.V., Loginova V.A., Evtushok M.V. 2016. Developing the Triple Helix Model in an Innovation Economy: The Experience of China and Russia. *Pacific State University Bulletin*. 4 (43): 161–170. (in Russian)
5. Ogurtsova E. V., Chelnokova O. Yu. 2018. Evaluation of realization of basic functions of regional systems of higher education. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Economics. Management. Law*. 18 (2): 169–175. doi: 10.18500/1994-2540-2018-18-2-169-175. (in Russian)
6. Suchkov G.V., Revin I.A. 2012. Networking of universities, business community and social institutions in the context of modernization of the regional economy and vocational education system. *Proceedings of higher educational institutions. North Caucasian region. Technical science*. 3: 117–122. (in Russian)
7. Fedolyak V. S. 2018. Inconsistency of the market of educational services with the requirements of the labor market: reasons and ways of overcoming. *Professional orientation*. 2: 49–53. (in Russian)
8. Firsova A.A., Narhova A.A. 2014. International Approaches to assessment of university for regional development. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Economics. Management. Law*. 14. 2(1): 289–294. (in Russian)
9. Firsova A.A., Chernyshova G.Y. 2019. Mathematical models for evaluation of the higher education system functions with DEA approach. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Math. Mech. Inform.* 19 (3): 351–362. doi: 0.18500/1816-9791-2019-19-3-351-362.
10. Cai Y., Etzkowitz H. 2020. Theorizing the Triple Helix model: Past, present, and future. *Triple Helix* 6 (1) : 1–38. doi:10.1163/21971927-bja10003.

11. Cai Y., Liu, C. 2020. The Role of University as Institutional Entrepreneur in Regional Innovation System: Towards an Analytical Framework. In: M.T. Preto, A. Daniel, and A. Teixeira, eds. *Examining the Role of Entrepreneurial Universities in Regional Development*. Hershey, PA: IGI Global. 133–155.
12. Etzkowitz H. 2008. *The Triple Helix: University–Industry–Government Innovation in Action*. New York/London: Routledge.
13. Etzkowitz H., Leydesdorff L. 2000. The Dynamics of Innovation: From National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of University–Industry–Government Relations. *Research Policy*. 29 (2): 109–123. doi: 10.1016/S0048-7333(99)00055-4.
14. Etzkowitz, H. (2008). *The Triple Helix: University–Industry–Government Innovation in Action*. New York/London: Routledge.
15. Fonseca L., Rodrigues C., Capelleras J-L. 2020. The organizational adaptation of universities to smart specialization: the emergence of strategic network interface units. *European Planning Studies*. doi: 10.1080/09654313.2020.1854188
16. Leydesdorff L. 2012. The Triple Helix, Quadruple Helix, ..., and an N-Tuple of Helices: Explanatory Models for Analyzing the Knowledge-Based Economy? *Journal of the Knowledge Economy*. 3(1): 25–35. doi: 10.1007/s13132-011-0049-4.
17. Morgan K. 1997. The learning region: Institutions, innovation and regional renewal. *Regional Studies*. 31: 491–503. doi: 10.1080/00343 40975 0132289.
18. Ogurtsova E., Firsova A., Chelnokova O. 2018. Regional higher education systems and sustainable regional economic development: functional approach. *Proceedings of the International Scientific Conference "Competitive, Sustainable and Secure Development of the Regional Economy: Response to Global Challenges" (CSSDRE 2018)*. Part of series: *Advances in Economics, Business and Management Research (AEBMR)*. 39: 618–622 doi: 10.2991/cssdre-18.2018.126.
19. Powel W.W., Snellman K. 2004. The Knowledge Economy. *Annual Review of Sociology* 30 (1): 199-220 doi: 10.1146/annurev.soc.29.010202.100037.
20. Yarime M., Trencher G., Mino T. et al. 2012. Establishing sustainability science in higher education institutions: towards an integration of academic development, institutionalization, and stakeholder collaborations. *Sustain Sci* 7: 101–113. <https://doi.org/10.1007/s11625-012-0157-5>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Макарова Елена Львовна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры менеджмента и инновационных технологий Института управления в экономических, экологических и социальных системах Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Россия

Elena L. Makarova, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of Management and Innovative Technologies Department, Institute of Management in Economic, Environmental and Social Systems Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ INVESTMENT AND INNOVATIONS

УДК 338.246

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-25-33

Технологическое развитие регионов России (на примере Белгородской области)

Говорова Н.В.

Институт Европы Российской академии наук,
Россия, 125009, г. Москва, ул. Моховая, 11-3
E-mail: n_govorova@mail.ru

Аннотация. Российская Федерация имеет все объективные возможности занять высоко конкурентные позиции на геоэкономической и политической арене мира. Это произойдет в том случае, если доминантой нашего развития станет наукоемкая промышленность и сфера услуг, основанные на отечественных технологиях. В статье рассматриваются условия и результаты развития инновационной экономики в регионах РФ на примере Белгородской области. Определены наиболее уязвимые аспекты, а также позитивные тенденции развития рассматриваемой территории применительно к тематике исследования и в сравнении с аналогичными регионами Центрального федерального округа по численности населения.

Ключевые слова: Россия, регионы, Белгородская область, экономика, технологическое развитие, ресурсы, хай-тек.

Для цитирования: Говорова Н.В. 2021. Технологическое развитие регионов России (на примере Белгородской области). Экономика. Информатика, 48 (1): 25–33.
DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-25-33.

Technological development of Russian Regions (on the example of Belgorod Region)

Natalia V. Govorova

Institute of Europe, Russian Academy of Sciences,
11-3 Mokhovaya St, Moscow, 125009, Russia
E-mail: n_govorova@mail.ru

Abstract. The Russian Federation has all objective opportunities to take a highly competitive position in the geo-economic and political arena of the world. For this purpose, modern tools for achieving leadership - a high level of scientific research and digital technologies in all spheres of life - should play an increasingly important role in the socio-economic development of our country. It seems relevant to consider the opportunities for technological breakthrough at the level of the Federation's subjects. The article deals with the conditions and results of innovative economy development in the regions of the Russian Federation on the example of Belgorod region. The most vulnerable aspects, as well as positive trends in the development of the territory under consideration with respect to the research subject and in comparison with similar regions of the Central Federal District in terms of population are identified.

Keywords: Russia, regions, Belgorod region, economy, technological development, resources, hi-tech.

For citation: Govorova N.V. 2021. Technological development of Russian Regions (on the example of Belgorod Region). Economics. Information technologies, 48 (1): 25–33 (in Russian).
DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-25-33.

Введение

Указом Президента РФ «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» [Указ Президента... № 474] перед страной поставлены тесно взаимосвязанные цели в сферах социально-экономического и научно-технологического развития: 1) сохранение населения, здоровье и благополучие людей; 2) возможности для самореализации и развития талантов; 3) комфортная и безопасная среда для жизни; 4) достойный, эффективный труд и успешное предпринимательство; 5) цифровая трансформация. Июльский Указ 2020 г. пересматривает горизонты планирования, отдельные механизмы реализации и показатели майского Указа 2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» [Указ Президента... № 204] с учетом поправок в Конституции, а также из-за последствий пандемии коронавируса COVID-19 и отставания кассового исполнения текущих национальных проектов в начальный период их реализации и во многом неудовлетворительного исполнения промежуточных целевых показателей. К примеру, в рамках национального проекта «Цифровая экономика» в 2019 г. не удалось реализовать схему по полному покрытию федеральных дорог мобильной связью; непростая ситуация сложилась и с выделением спектра для сетей связи пятого поколения (5G), поскольку перспективные частоты, необходимые для её развития, заняты спецслужбами и государственной корпорацией «Роскосмос». Выполнение бюджета составило лишь 73,3 %, в числе прочего и из-за срыва сроков принятия необходимых нормативно-правовых актов, а также проблем с оплатой подключения к интернету многочисленных социальных объектов. Корректировка нацпроектов и приведение их в соответствие с июльским Указом поручены Правительству РФ в срок до конца октября текущего года.

Основная часть

Установочные показатели в рамках национальной цели «Цифровая трансформация» тесно сопряжены с возможностями достижения остальных четырех целей и касаются прежде всего магистральных для воплощения в жизнь прорывного развития РФ отраслей экономики и социальной сферы, включая здравоохранение, образование и государственное управление. Среди них близкие к 100 % показатели доли социально значимых услуг, доступных в электронном виде и числа домохозяйств с доступом к широкополосному Интернету, а также существенное (в четыре раза за планируемый период) увеличение затрат на развитие отечественных информационных технологий. Многие российские эксперты отмечают настоятельную потребность ускорения инновационных процессов и роста качества ведения хозяйственной деятельности нашей страны как базиса устойчивого перехода на принципиально новый социально-экономический уровень развития экономики и общества [Литвиненко, 2018]. Необходимо подчеркнуть, что реализация этих процессов возможна только в русле осуществления научно-технической и инновационной политики, ориентированной на технологическое лидерство, подкрепленное необходимыми ресурсами.

К ключевым показателям состояния сферы науки традиционно относятся объем внутренних затрат на исследования и разработки (ИР), а также численность исследователей (в эквиваленте полной занятости) [Ефимова, Долгих, 2019]. Россия по общему числу занятых в научной сфере и внутренним затратам на ИР занимает лидирующие позиции в мире, при этом ситуация существенно меняется в худшую сторону, если рассматривать эти показатели в расчете на 10 тыс. занятых (в эквиваленте полной занятости) и одного исследователя соответственно. Следует признать, что в нашей стране также очень низок показатель финансирования НИОКР (по доле в валовом внутреннем продукте, ВВП), он почти вдвое меньше среднеевропейского и в течение последних лет не имеет отчетливой тенденции к росту [Горова, 2019]. Расходы на НИОКР стимулируют создание новых знаний, продуктов и услуг, на которые, среди прочего, регистрируются патенты. В Рейтинге стран мира по количеству оформленных патентов 2019 г. Россия вошла в ТОП-10 государств с самым большим числом патентов в 2018 г. (8 место – после Китая, США, Японии, Южной Кореи, Германии, Индии и Европейского патентного ведомства (ЕПВ) – 44 страны), при том по числу патентных заявок

(37957) наша страна отстает от лидера, Китая – более чем в 40 раз, от США – почти в 16, а от ЕПВ – в 4,5. И это отставание в последние годы отнюдь не сокращается [World Intellectual Property Indicators, 2019], в том числе и вследствие значительного снижения числа исследователей (в эквиваленте полной занятости) на миллион жителей в предшествующую декаду. Неуклонно снижается и доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в ВВП.

В 2019 г. общее количество заявок на выдачу патентов Российской Федерации на изобретения (из них 66 % – от российских заявителей) снизилось почти на 2,5 тыс. (-6,5 %), на полезные модели (ПМ)¹ (96 % – от российских заявителей) – незначительно (+4 %) выросло, а на регистрацию товарных знаков и знаков обслуживания (67 % – от российских заявителей) увеличилось на 15 % [Анализ изобретательской активности..., 2019]. Коэффициент изобретательской активности (КИА)² по сравнению с 2015 г. снизился по РФ в целом (как с учетом ПМ, так и без них); это падение произошло во всех федеральных округах, кроме Северо-Западного, где он существенно вырос, при этом имеет место ярко выраженная разница в разрезе регионов РФ, вследствие значительных расхождений по параметрам технологического, инновационного [Бабич, 2017], научного и человеческого развития. Региональный ландшафт по параметрам интеллектуальной собственности (ИС) проанализируем в сравнении отдельных регионов Центрального федерального округа (ЦАО), схожих с Белгородской областью по числу населения (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Количество заявок на выдачу патентов на объекты интеллектуальной собственности
Number of patent applications for intellectual property objects

| Субъект РФ | 2015 г. | | | 2019 г. | | |
|----------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|
| | Изобретения | Полезные модели | КИА* | Изобретения | Полезные модели | КИА* |
| Белгородская область | 149 | 109 | 0,96/1,66 | 157 | 105 | 1,01/1,69 |
| Владимирская область | 260 | 61 | 1,85/2,3 | 178 | 48 | 1,30/1,65 |
| Воронежская область | 671 | 127 | 2,88/3,42 | 424 | 138 | 1,82/2,41 |
| Тульская область | 185 | 62 | 1,22/1,64 | 121 | 69 | 0,82/1,28 |
| <i>Справочно:</i> | | | | | | |
| <i>РФ</i> | <i>45517</i> | <i>11906</i> | <i>2,0/2,78</i> | <i>35511</i> | <i>10136</i> | <i>1,59/2,25</i> |

* без учета ПМ / с учетом ПМ.

Источник: составлено автором на основе [Анализ изобретательской активности..., 2019].

В Белгородской области период с 2015 по 2018 гг. число заявок на изобретения увеличивалось, но в 2019 г. несколько уменьшилось, в Тульской области серьезные сокращения начались с 2016 г., в Воронежской области они продолжались весь период, за исключением 2018 г., точно такая же ситуация сложилась и во Владимирской области. Среди рассматриваемых регионов наименьшее значение КИА (без ПМ) в 2015 г. было зафиксировано в Белгородской области, при этом только здесь он вырос к 2019 г.; наибольшее – в Воронежской области, продемонстрировавшей и наибольшее падение в этот период времени, хотя и остав-

¹ Изобретение – техническое решение в любой области, относящееся к продукту (в частности, устройству, веществу, штамму микроорганизма, культуре клеток растений или животных) или способу (процессу осуществления действий над материальным объектом с помощью материальных средств), в том числе к применению продукта или способа по определенному назначению. Изобретению предоставляется правовая охрана, если оно является новым, имеет изобретательский уровень и промышленно применимо. Полезная модель – техническое решение, относящееся к устройству. Полезной модели предоставляется правовая охрана, если она является новой и промышленно применимой [Гражданский кодекс Российской Федерации..., 2006].

² Количество поданных заявок на выдачу патентов на изобретения и полезные модели на 10 тыс. человек населения.

шейся лидером анализируемой четверки регионов ЦАО. Тульская область в 2019 г. оказалась аутсайдером, вдвое уступая среднероссийскому показателю, также зарегистрировавшему снижение; следует отметить, что все анализируемые субъекты федерации заметно отстают от него, кроме Воронежской области, и показали низкий уровень изобретательской активности ($1 \leq \text{КИА} < 2$), а Тульская область – критично низкий ($\text{КИА} < 1$).

Представляется, что важным показателем технологического развития региона можно считать также изобретательскую активность вузов. В последние несколько лет произошло существенное сокращение числа патентов, зарегистрированных в вузах на фоне роста их качества, причем в этом процессе играли равноправную роль и ведущие, и региональные высшие школы. В 2019 г. ведущие учебные заведения анализируемых регионов заняли в рейтинге изобретательской активности российских университетов [Предметный рейтинг..., 2019] следующие места: Белгородский государственный национальный исследовательский университет (БелГУ) 23–26 место (в 2018 г. – 23–28 место); Белгородский государственный технологический университет (БелГУ) 43–47 место (29–33); Тульский государственный университет (ТулГУ) – 76–78 (74–79); Воронежский государственный университет (ВорГУ) – 38–42 (50–54). По сравнению с предыдущим годом серьезные подвижки произошли в БелГУ (отрицательные) и в ВорГУ (положительные). Владимирский государственный университет попал только в рейтинг по основным предметным областям (Экономика и менеджмент), заняв 31–33 место. С высокими результатами (ТОП-20) в данный рейтинг входит БелГУ (*Инженерные науки* – 11–13; *Материаловедение* – 13–14; *Металлургия (срез "Материаловедение")* – 4–5 места и ТулГУ (*Искусственный интеллект (срез «Компьютерные науки»)*) – 19 место.

Стратегия научно-технологического развития России до 2030 г. определяет, что ответом на внешние и внутренние вызовы и угрозы должно стать создание технологий, соответствующих национальным интересам и востребованных в мире, что потребует увеличения доли высокотехнологичных и наукоемких отраслей в ВВП страны [Стратегия научно-технологического развития..., 2016]. Высокие технологии или хай-тек (англ. high technology, high tech) способны радикально преобразовать большинство процессов, отраженных в директивных показателях в рамках цели «Цифровая трансформация», обеспечив весомый вклад в импортозамещение товаров и услуг, гарантируя безопасность в различных сферах хозяйственной деятельности (и не только). В нашей стране высокотехнологичный сектор экономики формирует порядка пятой части совокупного ВВП и более трети занятости, при этом доля РФ в мировом экспорте высокотехнологичной продукции составляет всего полпроцента, на фоне существенной доли соответствующего импорта – более 60 % [Национальный доклад..., 2020]. Росстат классифицирует high tech по трем основным категориям: 1) отрасли высокого технологического уровня (производство лекарственных средств и материалов, компьютеров, электронных и оптических изделий, летательных аппаратов); 2) отрасли высокого среднетехнологического уровня (производство химических веществ и продуктов, электрического оборудования, машин и оборудования, автотранспортных средств, медицинских инструментов и оборудования, ремонт и монтаж машин и оборудования) и 3) наукоемкие отрасли (водный, воздушный и космический транспорт, сфера ИКТ, право и бухгалтерский учет, архитектура и инженерно-техническое проектирование; технические испытания, НИР, образование, здравоохранение и ветеринария, трудоустройство и др.) [Приказ Росстата... № 832].

Среди стратегических индикаторов регионального развития отечественные исследователи выделяют как вид индикативного ориентира «Инновационный потенциал», индикатор – «Объем инновационных товаров, работ, услуг [Бодрунов и др., 2019]. В последние годы в России достаточно активно формируется система институтов развития в сфере инноваций и инновационные кластеры, а также особые экономические зоны и технопарки, включая детские и молодежные технопарки [Ваганова, 2019]. При этом результаты трудно назвать ощутимыми: в Глобальном инновационном индексе (2020 г.) Россия заняла лишь 47-ое место (-1 позиция по сравнению с данными 2019 г.) из 131 страны [Cornell University..., 2020], но прогресс по отношению к 2013 г. (62-ое место) все-таки имеется. Судя

по соотношению ресурсов (42 место) для инноваций и их результатов (58 место), первые используются далеко не эффективно, и это устойчивая тенденция с 2016 г.

Высокотехнологичный бизнес: потенциал и достижения

В исследовании Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (РАНХиГС) в рамках темы «Разработка показателей оценки уровня государственной поддержки высокотехнологичных и наукоемких видов деятельности как часть системы их мониторинга», регионы РФ по признаку несырьевого роста ранжируются как крупнейшие (г. Москва, г. Санкт-Петербург и Московская область), крупные, средние, субцентры, малые и незначительные. По классификации РАНХиГС Белгородская и Владимирская области относятся к малым центрам несырьевого роста в РФ [Говорова, 2020]. Это означает: пониженная доля в ресурсах и низкая – в результатах; неблагоприятные условия. Вклад высокотехнологичного бизнеса в производство, экспорт, налоги высокотехнологичного сектора страны не превышает 0,5 %. Воронежская область принадлежит к субцентрам (средняя и пониженная доля в ресурсах, но пониженная в результатах, менее благоприятные условия, вклад хай-тек бизнеса не превышает 1 %); Тульская область – к средним (средняя доля в ресурсах и результатах; относительно благоприятные условия. Вклад хай-тек бизнеса более 1 %).

Как и многие средства производства в России ресурсы для высокотехнологичного производства локализованы неоднородно: наибольшая их концентрация в Москве и Санкт-Петербурге, наименьшая – в Чукотском автономном округе и в Республике Тыва. Профили регионов по основным характеристикам высокотехнологичного сектора представлены в таблице 2.

Ресурсы исследуемых регионов

Кадровый потенциал высокотехнологичного сектора: в 2018 г. численность работников высокотехнологичного сектора не превышает 250 тыс. человек, положительный прирост зафиксирован в Воронежской и Тульской областях, индекс привлекательности региона для высококвалифицированных кадров (от 0 до 1) достаточно высок и колеблется от $> 0,70$ в Воронежской области до $0,60–0,65$ в Тульской. Институциональные условия для развития высокотехнологичного бизнеса наиболее благоприятны в Белгородской, Воронежской и Тульской областях и улучшились в течение предыдущего года в двух первых субъектах, а также во Владимирской области.

Обеспеченность инфраструктурой для высокотехнологичного бизнеса: число участников кластеров и резидентов технопарков < 100 ; индекс обеспеченности инновационной и информативно-коммуникационной инфраструктурой был самым высоким в Белгородской области, которая вместе с Тульской областью продемонстрировала и рост числа участников. Что касается *государственных закупок*, выполненных хай-тек компаниями, то самыми объемными они были в Воронежской и Владимирской областях (15000–50000 млн руб.). *Доля госзакупок* высокотехнологичными компаниями в общем объеме госзакупок регионов составила от 0,2 до 0,4 и была самой высокой в Владимирской области.

На результаты эволюции хай-тек в субъектах федерации существенно влияет его *привлекательность для высококвалифицированных кадров*, формирующаяся в основном за счет таких факторов как возможность хорошего заработка (с учетом регионального прожиточного минимума) и доступа к качественным не торгуемым товарам и услугам, прежде всего к жилью и трудоустройству, а также благоприятные экологические и климатические условия жизнедеятельности. Среди самых комфортных в этом отношении регионов РФ в 2018 г. оказались Белгородская и Воронежская области (наряду с Московской и Липецкой областями, г. Санкт-Петербург, Республикой Татарстан и др.). Необходимо отметить, что здесь имеет место сильная соревновательность, многие регионы и отдельные большие города стремятся привлечь «talantsy», создавая новые качественные рабочие места, современную инфраструктуру, включая транспортную, жилищную, образовательную, рекреационную. Вне конкуренции остаются лишь природно-климатические условия.

Таблица 2
Table 2Ресурсы и результаты развития высокотехнологического производства
Resources and results in the development of high-tech production

| РЕСУРСЫ | | | | | | | | | |
|----------------------|---|---------|--|--|---------|-------------------|---------------|----------------|------------|
| Регион | Рейтинг ресурсов (из 85 регионов РФ) | | Доля региона в ресурсах России для развития хайтек, 2018 г., % | Ранг региона по доле в ресурсах РФ для развития высокотехнологического бизнеса в 2017 г. | | | | | |
| | 2017 г. | 2018 г. | | Капитал | Кадры | Научный потенциал | Институты | Инфраструктура | Госзакупки |
| Белгородская область | 47 | 43 | 0,87 | 51 | 37 | 41 | 12 | 30 | 69 |
| Тульская область | 27 | 27 | 1,07 | 20 | 32 | 29 | 7 | 23 | 37 |
| Владимирская область | 38 | 34 | 0,94 | 31 | 36 | 24 | 24 | 45 | 38 |
| Воронежская область | 17 | 17 | 1,29 | 33 | 18 | 11 | 5 | 27 | 32 |
| РЕЗУЛЬТАТЫ | | | | | | | | | |
| Регион | Рейтинг результатов (из 85 регионов РФ) | | Доля в результатах 2018 г., % | Ранг региона в 2017 г. | | | | | |
| | 2017 г. | 2018 г. | | Продукты | Экспорт | Налоги | Рабочие места | Новый бизнес | |
| Белгородская область | 45 | 51 | 0,41 | 39 | 38 | 53 | 42 | 25 | |
| Тульская область | 21 | 20 | 1,07 | 18 | 29 | 16 | 42 | 29 | |
| Владимирская область | 31 | 35 | 0,57 | 32 | 30 | 24 | 39 | 48 | |
| Воронежская область | 29 | 31 | 0,78 | 24 | 42 | 29 | 42 | 15 | |

Источник: составлено автором на основе [Национальный доклад..., 2019; 2020].

Результаты деятельности

Производство высокотехнологического бизнеса: объем в регионах не превышал 250 млрд руб., за исключением Владимирской области – 250–1000 млрд руб., но все они, за исключением Тульской области, демонстрируют положительный прирост хай-тек сектора и различные его доли в ВРП – от менее 15 % в Белгородской до 20–25 % в Тульской и Владимирской областях. Высокотехнологичный *экспорт*: объем экспорта высокотехнологичных товаров не превышает 50000 млн руб., а доля высокотехнологичных товаров в общем объеме экспорта <5 во Владимирской, но более 50 в Тульской и Белгородской областях, при положительном приросте экспорта повсюду, кроме последней. Для всех четырех регионов характерен положительный прирост *налога на прибыль* от высокотехнологичных компаний в 2018 г. по сравнению с 2017 г., при этом более 30 % всего налога на прибыль приходится на высокотехнологичные компании в Тульской области главным образом за счет оборонно-промышленный комплекса (ОПК).

Возникновение *нового бизнеса*: стартапов и спиноффов (от англ. spin-off, spin out – раскрутить), цель создания которых – повышение эффективности и диверсификация деятельности компании – один из признаков становления несырьевых секторов экономики, во многом детерминирован развитием инфраструктуры в регионе и числом уже работающих компаний [Говорова, 2020]. Исследуемые территории пока не принадлежат к числу регионов с высокой стартап-активностью (табл. 3).

Таблица 3
Table 3Новый высокотехнологичный бизнес в регионах России
Startups in Russian regions

| Регион | Число новых фирм, ед., 2018 г. | Прирост числа новых компаний за 2018/2017 гг. | Отношение числа новых фирм к численности рабочей силы, ед./тыс. чел., 2017 г. |
|----------------------|--------------------------------|---|---|
| Белгородская область | < 100 | Отрицательный | > 0,2 |
| Владимирская область | < 100 | Положительный | < 0,05 |
| Воронежская область | 100-500 | Положительный | 0,05–0,1 |
| Тульская область | 100-500 | Положительный | 0,15–0,2 |

Источник: составлено автором на основе [Национальный доклад..., 2020].

Если соотнести долю региона в результатах высокотехнологичного бизнеса к его доле в ресурсах, можно получить некую оценку результативности региона, то есть насколько полно он использует свои ресурсы. Если у региона полученное соотношение выше единицы, то его хай-тек сектор следует признать эффективным, в противном случае, скорее всего, регион не полностью использует имеющиеся у него возможности. Только Тульскую область в этом отношении можно признать эффективной, а аутсайдером – Белгородскую.

Белгородская, Воронежская и Тульская области – регионы, в которых заработная плата работников сферы информационных технологий выше, чем в среднем в России, и выше, чем в среднем в региональной экономике, при этом в первых двух областях риски автоматизации выше, чем в РФ в среднем, а возможности адаптации ниже, а в последней – риски автоматизации ниже, чем в РФ в среднем, и выше возможности адаптации. Во Владимирской области риски автоматизации выше среднестрановых, но и возможности адаптации выше. Для успешного создания нового бизнеса требуется благоприятная среда (региональные предпринимательские экосистемы). Белгородская и Тульская области по типу региональных предпринимательских экосистем относятся к благоприятным для всех компаний, Владимирская область – благоприятна в большей степени для низкотехнологичного производства, а Воронежская – более благоприятная для низкотехнологичных предприятий.

Необходимо подчеркнуть также, что доля выпуска специалистов по STEAM специальностям (наука, техника, инженерия и математика) выше 25 %, то есть сравнимо с некоторыми странами, где естественно-научное образование является стратегическим приоритетом (США, Великобритания, Южная Корея, Австралия, Сингапур, Израиль и др.) наблюдается лишь в 12 регионах [Семенова и др., 2019], и среди них Белгородская и Воронежская области. При этом исследуемые регионы не входят в число лидеров по концентрации ИКТ-специалистов и уровню занятости в этой сфере. Следует упомянуть и об инвестиционных рисках в финансовой, социально-экономической, экологической и др. сферах деятельности, поскольку они существенно влияют на формирование институциональной среды для хай-тек. В ТОП-15 по этому параметру вошли Тульская, Белгородская и Воронежская области (наряду с Москвой, Республикой Татарстан, Тюменской и Калужской областями и др.).

Заключение

Для технологического прорыва нашей стране требуется не только адекватное финансирование НИОКР, но и повышение имиджа научно-технологической деятельности, наиболее привлекательной как с материальной, так и с моральной точек зрения, прежде всего для молодых научных кадров [Ярашева, Аксенова, 2017]. Этому может способствовать форсированное развитие человеческого потенциала и создание высокопроизводительных рабочих мест в регионах, что в эпоху цифровой экономики послужит встраиванию региональных рынков труда в международные цепочки добавленной стоимости. На это нацелены и все пять приоритетов национального развития Российской Федерации до 2030 г.

Список источников

1. Анализ изобретательской активности в регионах Российской Федерации. 2019 г. URL: <https://www1.fips.ru/about/deyatelnost/sotrudnichestvo-s-regionami-rossii/a-iz-akt-2019.pdf> (дата обращения: 22 октября 2020).
2. Гражданский кодекс Российской Федерации, часть 4 (ГК РФ ч.4). 18 декабря 2006 года № 230-ФЗ (статья 1350, 1351). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64629/ (дата обращения: 22 октября 2020).
3. Предметный рейтинг научной продуктивности (рейтинг факультетов) и индекс изобретательской активности университетов России. 2019. URL: <http://www.acexpert.ru/analytics/ratings/reuting-izobretatelskoy-aktivnosti-vuzov---2019.html> (дата обращения: 22 октября 2020).
4. Приказ Росстата от 15.12.2017 №832 «Об утверждении Методики расчета показателей «Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом внутреннем продукте». URL: http://www.gks.ru/metod/metodika_832.pdf (дата обращения: 22 октября 2020).
5. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207967/491d0aad1a57443c712cfd119c49c7d5291eab8/ (дата обращения: 22 октября 2020).
6. Указ Президента РФ от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74304210/> (дата обращения: 22 октября 2020).
7. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71837200/> (дата обращения: 22 октября 2020).

Список литературы

1. Бабич С.Г. 2017. Индексный анализ дифференциации регионов РФ по основным показателям инновационной деятельности. Статистика и экономика. 14 (2): 3–13.
2. Бодрунов С.Д., Вертакова Ю.В., Непочатых О.Ю. 2019. Совершенствование экономической политики региона на основе выявления индикаторов развития. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 46 (4): 589–599. DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-589-599.
3. Ваганова О.В. 2019. Влияние экономических санкций на инновационное развитие России. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 46 (1): 21–30. DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-1-21-30.
4. Говорова Н.В. 2019. Качество экономического роста в контексте целей устойчивого развития ООН. Стандарты и качество, 7: 70–73.
5. Говорова Н.В. 2020. Высокотехнологичная экономика в регионах России: потенциал и результат. В сборнике: Финансово-экономическое и информационное обеспечение инновационного развития региона. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: 15–20.
6. Ефимова М.Р., Долгих Е.А. 2019. Статистический анализ внутренних затрат на научные исследования и разработки в регионах Российской Федерации. Вестник университета. 1 (7):61–68. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2019-7-61-68>
7. Литвиненко И.Л. 2018. К вопросу об управлении региональной инновационной Системой. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 45 (4): 612–621. DOI 10.18413/2411-3808-2018-45-4-612-621.
8. Национальный доклад «Высокотехнологичный бизнес в регионах России» / под ред. С.П. Земцова. М.: РАНХиГС, АИРР, 2019.
9. Национальный доклад «Высокотехнологичный бизнес в регионах России» / под ред. С.П. Земцова. М.: РАНХиГС, АИРР, 2020.
10. Семенова Р.И., Земцов С.П., Полякова П.Н. 2019. STEAM-образование и занятость в информационных технологиях как факторы адаптации к цифровой трансформации экономики в регионах России. Инновации, 11 (2–14). DOI 10.26310/2071-3010.2019.252.10.006.
11. Ярашева А.В., Аксенова Е.И. 2017. Проблемы воспроизводства научных кадров глазами руководителей институтов. Народонаселение, 4: 105–118. DOI: 10.26653/1561-7785-2017-4-8.
12. Cornell University, INSEAD, and WIPO. 2020. The Global Innovation Index 2020: Who Will Finance Innovation? Ithaca, Fontainebleau, and Geneva.

13. World Bank Group. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.TECH.CD?view=chart> (дата обращения: 22 октября 2020).

14. World Intellectual Property Indicators 2019. URL: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_941_2019.pdf (дата обращения: 22 октября 2020).

References

1. Babich S.G. 2017. Index analysis of differentiation of the Russian Federation regions on the basic indicators of innovation activity. *Statistics and Economics*, 4 (2): 3–13. (in Russian).

2. Bodrunov S.D., Vertakova Y.V., Nepochatykh O.Y. 2019. Improvement of economic policy of the region on the basis of identification of development indicators. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*. 46 (4): 589–599 (in Russian). DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-589-599.

3. Vaganova O.V. 2019. The impact of economic sanctions on the innovative Development of Russia. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*. 46 (1): 21–30 (in Russian). DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-1-21-30.

4. Govorova N.V. 2019. Quality of economic growth in the context of UN sustainable development goals. *Standards and quality*. 7: 72 (in Russian).

5. Govorova N.V. 2020. High-tech economy in Russian regions: potential and results. In the collection: *Financial, economic and information support for the innovative development of the region. Materials of the III All-Russian scientific-practical conference with international participation*: 15–20. (in Russian).

6. Efimova M., Dolgikh E. 2019. Statistical analysis of research and development costs in the regions of the Russian Federation. *Vestnik Universiteta*, 1(7):61–68. (in Russian.) <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2019-7-61-68>.

7. Litvinenko I.L. 2018. About the management of the regional innovative system. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*. 45 (4): 612–621. (in Russian). DOI 10.18413/2411-3808-2018-45-4-612-621.

8. National report "High-tech business in the Russian regions" / Zemtsov S. (ed.) Moscow: RANEPА, AIRR, 2019. (in Russian).

9. National report "High-tech business in the Russian regions" / Zemtsov S. (ed.) Moscow: RANEPА, AIRR, 2020. (in Russian).

10. Semenova, R.I.; Zemtsov, S.P.; Polyakova, P.N. 2019. STEAM-education and IT-employment as factors of adaptation to the digital transformation of the economy in the regions of Russia. *Innovations*, 11 (2–14) (in Russian). DOI 10.26310/2071-3010.2019.252.10.006.

11. Yarasheva A.V., Aksenova E.I. 2017. Problems of reproduction of scientific personnel as viewed by heads of institutions. *Population*. 4: 105–118 (in Russian). DOI: 10.26653/1561-7785-2017-4-8

12. Cornell University, INSEAD, and WIPO. 2020. *The Global Innovation Index 2020: Who Will Finance Innovation?* Ithaca, Fontainebleau, and Geneva.

13. World Bank Group. Available at: <https://data.worldbank.org/indicator/TX.VAL.TECH.CD?view=chart> (accessed: October 22, 2020).

14. World Intellectual Property Indicators 2019. Available at: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_941_2019.pdf (accessed: October 22, 2020).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Говорова Наталья Викторовна, кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела экономических исследований Института Европы РАН, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Natalia V. Govorova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, leading Researcher of the Department of Economic studies, Institute of Europe, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

УДК 330.34

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-34-43

Состояние национальной инновационной системы России как повод к её институциональному совершенствованию

Григорьев Е.А.

Сибирский государственный университет водного транспорта,

Россия, 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33

E-mail: e.a.grigorev@mail.ru

Аннотация. В современном мире внедрение и развитие инноваций являются приоритетом для любого государства. Как правило, инновации связывают с высокотехнологичными отраслями – информационные технологии, научные исследования и разработки. Вектор развития экономики Российской Федерации на современном этапе формируется, прежде всего, Стратегией инновационного развития РФ, в которой провозглашен инновационный путь развития, требующий постоянных новшеств и коммерциализации инноваций. Статья посвящена обзору современного состояния национальной инновационной системы (НИС) России. Определена роль инноваций в экономике страны; проанализирована инновационная активность стран и дана оценка НИС РФ; выявлены проблемы, препятствующие эффективности инновационной деятельности. В качестве решения проблемы несовершенства институтов рекомендовано создавать и внедрять новые институты, позволяющие стимулировать инновационную активность в имеющейся среде с привлечением новых экономических агентов.

Ключевые слова: инновационная экономика, инновационные технологии, национальная инновационная система, глобальный индекс инноваций.

Для цитирования: Григорьев Е.А. 2021. Состояние национальной инновационной системы России как повод к её институциональному совершенствованию. Экономика. Информатика, 48 (1): 34–43. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-34-43.

State of the national innovation system of Russia as a reason for its institutional improvement

Evgeny A. Grigoriev

Siberian State University of Water Transport,
33 Shchetinkina str., Novosibirsk, 630099, Russia

E-mail: e.a.grigorev@mail.ru

Abstract. In the modern world, the introduction and development of innovations are a priority for any state. as a rule, innovations are associated with high – tech industries-information technology, research and development. The vector of development of the economy of the Russian Federation at the present stage is formed, first, by the Strategy of Innovative Development of the Russian Federation, which proclaims an innovative way of development, requiring constant innovations and commercialization of innovations. The article is devoted to the review of the current state of the national innovation system (NIS) of Russia. The role of innovation in the country's economy is determined; the innovative activity of countries is analyzed, and the NIS of the Russian Federation is evaluated; the problems that hinder the effectiveness of innovation activity are identified. As a solution to the problem of imperfect institutions, it is recommended to create and implement new institutions that allow stimulating innovative activity in the existing environment with the involvement of new economic agents.

Keywords: innovative economy, innovative technologies, national innovation system, global innovation index.

For citation: Grigoriev E.A. 2021. State of the national innovation system of Russia as a reason for its institutional improvement. *Economics. Information technologies*, 48 (1): 34–43 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-34-43.

Введение

Устойчивое социально-экономическое развитие страны, ее конкурентоспособность невозможно без внедрения и развития инноваций. Инновационная активность государства является залогом успешного развития, обеспечивающего экономический рост, конкурентоспособность страны в мировом масштабе [Варакса, Залесова, 2019]. Инновации внедряются не только в наукоемких технологиях, они проникают во все сферы современного общества. Так, внедрение и развитие инноваций активно реализуется, прежде всего, через информационные и коммуникационные технологии в сфере здравоохранения, транспорта, образования, в бизнесе и государственной власти [Колотвинов, 2015]. То есть, используя научный потенциал, через взаимодействие частного и государственного сектора путем внедрения высоких технологий в различные сферы происходит трансформация на всех уровнях – на макро-, мезо- и микроуровне, что находит отражение в основных показателях [Волкова, 2015; Дорошенко, Бережная, 2019; Кошелева, 2015; Храмцова, 2018; Drucker 2007; Gassmann et al., 2016].

Так как целью работы является краткий обзор современного состояния национальной инновационной системы (НИС) Российской Федерации, необходимо дать ее определение. Согласно *институциональному подходу*, под НИС понимают совокупность институтов, «относящихся к частному, общественным и государственным секторам, осуществляющих создание и реализацию инноваций (новых знаний и технологий) как индивидуально, так совместными усилиями в рамках конкретного государства» [Голиченко, 2012].

При этом выделяется ряд ключевых блоков организаций НИС: производственно-технологический, инвестиционно-финансовый, кадровый, информационный, экспертно-консалтинговый [Волконицкая, Ляпина, 2014].

То есть только во взаимодействии различных сторон с обязательным участием государства, как регулятора этих взаимоотношений, возможно функционирование НИС. При этом роль государства заключается в формировании так называемых рамочных условий – «создает ресурсы и институты, выступает как катализатор процессов в НИС партнер, снижающий инновационные риски» [Голиченко, 2012].

С учетом таких важных аспектов НИС как необходимость взаимодействия между различными сторонами, а также принимая во внимание важную роль государства, которое должно осуществлять, прежде всего, «управление системными связями, проектированием и управлением объектами инфраструктуры» [Фадейкина, Малина, 2020], можно дать следующее дополнение определения НИС. Авторское понятие НИС сводится к совокупности институтов на национальном уровне и взаимосвязей между организациями, осуществляющими производственно-технологические, инвестиционно-финансовые, кадровые, информационные, экспертно-консалтинговые функции, регулируемые государством для обеспечения инновационного развития страны.

Основные результаты исследования

Учитывая, что развитие страны на различных уровнях, как на культурном, политическом, так и технологическом, проходит по только присущей ей траектории, состояние и эволюция национальной инновационной системы (НИС) различаются. Этим и можно объяснить, что «трудно создать универсальную или оптимальную НИС для всех стран» [Альжанова, 2016; Nelson, 1993]. Существуют различные подходы, по которым можно проводить сравнительный анализ НИС.

В целом выделяют четыре основных среза (подсистемы), по которым проводят оценку НИС: 1) научный потенциал; 2) инновационная инфраструктура; 3) инновационное предпринимательство; 4) финансовая инфраструктура [Притворова, Ситенко, 2010].

Основоположники концепции национальных инновационных систем выделяют различные по количеству и составу элементы. Так, Б.А. Лундвал предложил выделять шесть аспектов для сравнения НИС: 1) внутренняя организация фирм; 2) взаимодействия с другими фирмами; 3) государственный сектор; 4) финансовая инфраструктура; 5) научные исследования, разработки и их реализация; 6) национальная система образования и. К. Фримен при сравнении инновационных систем применял следующие основные критерии: 1) доля затрат на научные исследования и разработки в объеме ВВП; 2) доля участия промышленных предприятий в финансировании НИОКР; 3) состояние электронной промышленности; 4) доля иностранных инвестиций [Freeman, 1995].

Основные параметры инновационной активности России нашли отражение в целевых индикаторах реализации стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 г. [Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 г.] (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Целевые индикаторы реализации Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года
Target indicators for the implementation of the innovative development Strategy of the Russian Federation for the period up to 2020

| № | Наименование показателя | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. |
|-----|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|
| 1 | Доля предприятий, осуществляющих технологические инновации (от общего количества предприятий) | 7,9 | 8,9 | 9,1 | 8,9 | 8,8 | 8,3 | 7,3 | 20,8* (7,5) | 19,6* | 21,6* |
| 2 | Доля затрат на технологические инновации (в общем объеме затрат на производство промышленного производства), % | - | 1,5 | 1,8 | 2,2 | 2,1 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,5 | - |
| 3 | Внутренние затраты на исследования и разработки (в % от ВВП) | 1,13 | 1,02 | 1,05 | 1,03 | 1,07 | 1,10 | 1,10 | 1,11 | 1,0 | 1,03 |
| 4 | Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования: | | | | | | | | | | |
| 4.1 | - бюджетные средства | 68,8 | 65,6 | 66,0 | 65,8 | 67,1 | 67,5 | 65,9 | 63,8 | 64,3 | 64,4 |
| 4.2 | - внебюджетные средства | 31,2 | 34,4 | 34,0 | 34,2 | 32,9 | 32,5 | 34,1 | 36,2 | 35,7 | 35,6 |
| 5 | Коэффициент изобретательской активности (число поданных в РФ отечественных патентных заявок на изобретения, в расчете на 10 тыс. чел. населения) | 2,01 | 1,85 | 2,00 | 2,00 | 1,65 | 2,00 | 1,83 | 1,55 | 1,70 | 1,59 |

* Примечание. Данные за 2017, 2018 и 2019 г. рассчитаны по новой методологии, что объясняется добавлением 2 дополнительных критериев отнесения предприятий к инновационным

Основные индикаторы, характеризующие инновационную деятельность, позволяют сделать вывод о том, что в целом произошли незначительные изменения в 2019 г. по сравнению с 2018 г. Так, доля предприятий, осуществляющих технологические инновации, начиная с 2017 г., возрастает и достигает 20,8%, что обусловлено, прежде всего, добавлением двух дополнительных критериев при отнесении предприятий к инновационным, однако, при пересчете на методологии, действующей ранее, можно отметить, что рост произошел незначительный – всего 0,2%.

Другой важнейший индикатор, характеризующий инновационную сферу страны - «внутренние затраты на исследования и разработки в процентах к ВВП» практически не меняется. Значение этого показателя, начиная с 2010 г. колеблется в пределах 1,0-1,13% и в 2019 г. составило всего 1,03%. Россия значительно отстает от ведущих стран мира, в 2-3 раза. В то время как аналогичный показатель (в 2018 г.) - в Германии 3,103%, Швейцарии - 3,293%, Швеции - 3,321%, Нидерланды - 2,164% [OECD, 2018] (рис. 1).

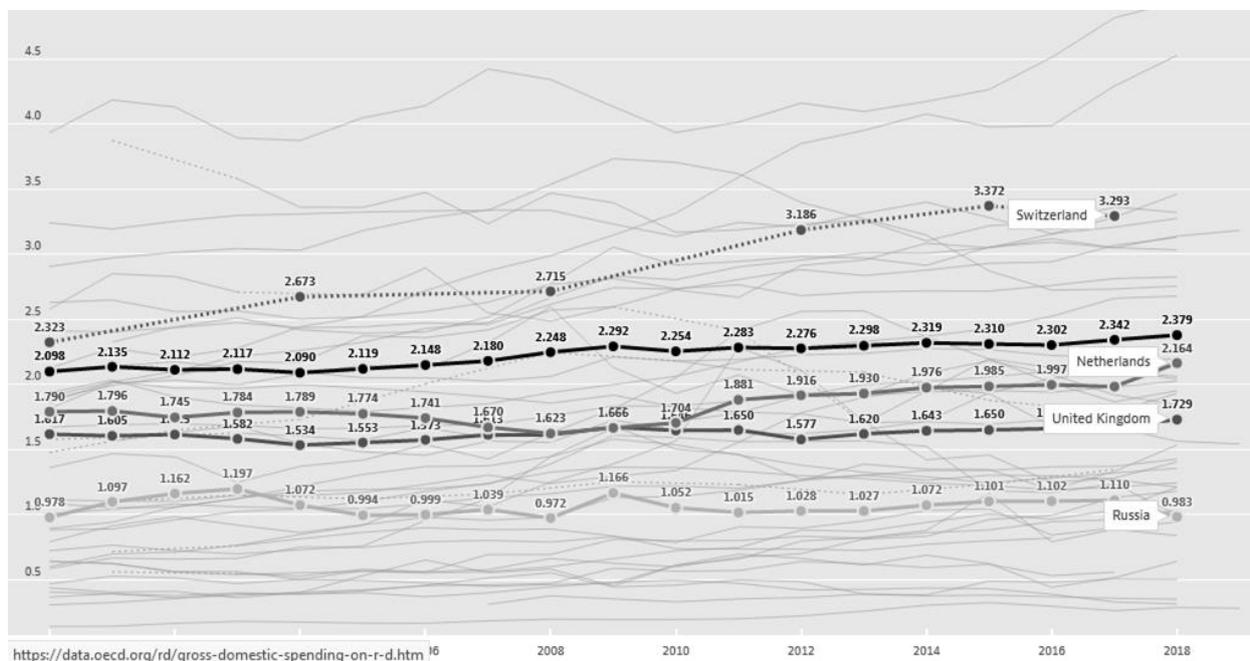


Рис. 1. Валовые внутренние расходы на НИОКР, %
Fig. 1. Gross domestic expenditure on R & d, %

Для анализа инновационной активности стран и возможности сопоставления разработаны различные агрегатные индексы. Существуют различные международные индексы; к ним относят Европейскую шкалу инноваций (EIS), глобальный инновационный индекс, индекс глобальной конкурентоспособности [Рудаенко, Подкуйко, 2018].

Наиболее информативным и распространенным для оценки и сопоставления инновационного развития страны является Глобальный индекс инноваций (The Global Innovation Index, далее ГИИ). Его разработчиками явились INSEAD – международная бизнес-школа, школа бизнеса Университетом Корнелл, и Всемирная организация интеллектуальной собственности (WIPO). В ГИИ нашли отражение различные аспекты инновационного развития той или иной страны, как развитых, так и развивающихся. Оценка проводится, начиная с 2007 г. с использованием 80 различных критериев и показателей, на основе которых формируются два субиндекса – субиндекс располагаемых инновационных ресурсов и субиндекс достигнутых результатов реализации инноваций. Для оценки инновационных ресурсов исследуются такие характеристики как: 1) человеческий капитал, 2) институты 3) инфраструктура, 4) состояние внутреннего рынка 5) развитость бизнеса. При исследовании инновационных результатов анализируются развитость технологий и экономики знаний, а также состояние креативной деятельности. В свою очередь для определения глобального индекса инноваций рассчитывается среднее значение двух субиндексов. Глобальный индекс определяется для 131 стран, начиная с 2007 г.

Примечательно, что сравнительный анализ проводится по группам стран, сформированных по уровню дохода и по региональному признаку. С точки зрения группировки по уровню дохода выделяют четыре группы стран: 1) с высоким уровнем доходов (49), 2) с доходом выше среднего (37), 3) с низким средним уровнем доходов (29) и 4) с низким уровнем доходов (16).

Пандемия коронавирусной болезни (COVID-19) вызвала беспрецедентный глобальный экономический спад. Как полагают авторы отчета, формируемого по глобальному индексу инноваций ежегодно, кризис может стать катализатором во многих традиционных секторах, таких как туризм, образование, розничная торговля.

Несмотря на это, на протяжении многих лет лидирующие позиции по Глобальному индексу в 2020 г. занимают Швейцария, Швеция, США, Соединенное Королевство и Нидерланды. Это объясняется, прежде всего, значительной государственной поддержкой и системой льгот при внедрении инноваций.

Россия в 2020 г. включена в группу стран «с доходом выше среднего» и занимает 6 позицию среди 37 стран этой группы [Глобальный индекс инноваций, 2020] (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Страны-лидеры по уровню доходов за 2020 г.
Leading countries in terms of income for 2020

| С высоким доходом | | С доходом выше среднего | | С доходами ниже среднего | | С низким уровнем доходов | |
|-------------------|----|-------------------------|----|--------------------------|----|----------------------------------|-----|
| Швейцария | 1 | Китай | 14 | Вьетнам | 42 | Объединенная республика Танзания | 88 |
| Швеция | 2 | Малайзия | 33 | Украина | 45 | Руанда | 91 |
| США | 3 | Болгария | 37 | Индия | 48 | Непал | 95 |
| Великобритания | 4 | Тайланд | 44 | Филиппины | 50 | Таджикистан | 109 |
| Нидерланды | 5 | Румыния | 46 | Монголия | 58 | Малави | 111 |
| Дания | 6 | Российская Федерация | 47 | Молдавская республика | 59 | Уганда | 114 |
| Финляндия | 7 | Черногория | 49 | Тунис | 65 | Мадагаскар | 115 |
| Сингапур | 8 | Турция | 51 | Марокко | 75 | Буркина Фасо | 118 |
| Германия | 9 | Маврикий | 52 | Индонезия | 85 | Мали | 123 |
| Республика | 10 | Сербия | 53 | Кения | 86 | Мозамбик | 124 |

В основе другой группировки – *региональный признак* – по этому признаку выделяют 7 групп: 1) Северная Америка, 2) Европа, 3) Юго-Восточная Азия и Океания, 4) Северная Африка и Западная Азия, 5) Латинская Америка и Карибский бассейн, 6) Южная Африка и Сахара, 7) Центральная и Южная Азия. Различие в инновационном развитии среди различных групп, как по уровню доходов, так и по региональному признаку превышает более чем в 2 раза. Российская Федерация заняла 32 место из 39.

Анализируя динамику глобального индекса инноваций РФ за 3 года, отметим, что у Российской Федерации индекс снизился на 1 позицию, с 46 на 47 место. В 2020 г. Российская Федерация занимает 42 место по объему инновационных ресурсов инноваций, что ниже, чем в прошлом году, но выше, чем в 2018 г. По субиндексу «результаты инноваций» Россия занимает 58 место.

Сделав более подробный анализ, можно увидеть, что только по одному критерию «человеческий капитал и исследования» высокий рейтинг (30-е место). По категориям «развитие бизнеса», «знания и создание технологий», а также «креативная деятельность», «инфраструктура» значения выше среднего в соответствующей группе стран.

По сравнению с другими странами Европы Российская Федерация занимает только по одному элементу позицию выше среднего «Человеческий капитал и исследования», по остальным составляющим значения ниже среднего (рис. 2).



Рис. 2. Рейтинг РФ в 2020 г. по семи составляющим Глобального индекса инноваций
 Fig. 2. Russia's rating in 2020 for seven components of the Global innovation index

Исследуя сильные стороны, можно выделить наличие квалифицированных кадров – по количеству выпускников по естественным и техническим наукам (15 место), доступность высшего образования (17 место), соотношение учащихся и учителей (19 место).

Высокие потенциальные возможности в области научных исследований - число патентных заявок, поданных в патентные ведомства страны (17 место), по наличию полезных моделей – 9 место. Так, несмотря на рост поданных патентных заявок по промышленным образцам и полезным моделям, общее количество поданных заявок снизилось в 2019 г. на 1045 (по сравнению с 2018 г.) и составило 52567, что обусловлено снижением поданных заявок по изобретениям, число выданных патентов в 2019 г. также снизилось – 48251 (в 2018 г. 51946 шт., табл. 3) [Роспатент: цифры, факты и проекты, 2019]

Таблица 3
 Table 3

Количество поданных патентных заявок и выданных патентов*
 Number of patent applications filed and patents granted*

| Наименование | 2019 | 2018 | 2017 |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| Промышленные образцы, подано заявок | 6920 | 5908 | 6487 |
| выдано патентов | 5395 | 6305 | 5339 |
| Изобретения: подано заявок | 35511 | 37957 | 36454 |
| выдано патентов | 34008 | 35774 | 34254 |
| Полезные модели: подано заявок | 10136 | 9747 | 10643 |
| выдано патентов | 8848 | 9867 | 8774 |

* Составлено по данным официального сайта Роспатент: цифры, факты и проекты

Это в совокупности характеризует высокий научный потенциал, позволяющий получить высокую эффективность инновационной деятельности.

Несмотря на огромный инновационный потенциал в области - зарегистрировано значительное количество патентов, реализация инновационной деятельности в этой сфере находится на невысоком уровне.

Однако слабое развитие такой сферы как «институты» (71-е место) препятствует эффективности инновационной деятельности. Как справедливо отмечают исследователи из Высшей школы экономики, экономическое и социальное состояние той или иной страны во многом зависит от уровня развитости институтов.

Характеристика состояния институтов характеризуется следующими параметрами элементов (табл. 4).

Наиболее слабо развита регулирующая среда (95 место среди 131 страны), что определяется, прежде всего, верховенством права (114 место) и качеством законодательной базы (105 место).

Таблица 4
Table 4

Рейтинг элементов категории «институты» Глобального инновационного Индекса в 2020 г.
Ranking of elements of the «institutions» category of the Global Innovation Index in 2020

| Элементы | Место среди 131 страны | Значение (0–100) |
|---|------------------------|------------------|
| 1. Политическая среда | 75 | 54,5 |
| 1.1. Политическая стабильность | 76 | 66,1 |
| 1.2. Эффективность государственного управления | 75 | 48,8 |
| 2. Регулирующая среда | 95 | 54 |
| 2.1. Качество законодательной базы | 105 | 27,5 |
| 2.2. Верховенство права | 114 | 25,4 |
| 2.3. Затраты, связанные с сокращением штатных сотрудников | 69 | 17,3 |

Несмотря на то, что принимаются все новые и новые законы, российская правовая база является довольно несовершенной. Слабо развита законодательная база в области бюджетного, налогового и таможенного регулирования; недостаточно сформированы условия для развития малого бизнеса, а также с отсутствием взаимосвязи между законодательными актами.

Несмотря на то, что в 2003–2004 гг. были приняты различные нормативно-правовые акты в области административной реформы, в которых прописаны более «однозначные полномочия и ответственность, а также принципы государственной службы», эффективность государственной управления остается на весьма низком уровне (75-е место).

Весьма высокая коррупционная составляющая. Уровень коррупции в России довольно высокий, значительная часть экономики находится в «черной зоне». Так, в начале 2000-х гг. «объем коррупционных издержек в российской экономике составлял до 10% ВВП». И несмотря на то, что статистика свидетельствует о снижении на 25% числа выявленных нарушений, оборот коррупционного рынка вырос в 100 раз (порядка 3 млрд долларов в 2003 г. против более 300 млрд долл. на 2020 г.). В большинстве случаев коррупционные преступления вызваны существующими пробелами в законодательной базе РФ.

О состоянии уровня коррупции также может свидетельствовать Индекс восприятия коррупции (ИВК), который публикуется в Отчетах международной неправительственной организации Transparency International [Индекс восприятия коррупции, 2020]. Россия в Индексе восприятия коррупции-2020 заняла 129 место.

В качестве рекомендаций можно предложить следующее - ввести в Российской Федерации антикоррупционное воспитание, опираясь на опыт Дании. В силу того, что в Дании реализуется проект «Образование против коррупции», она занимает первые позиции в международных антикоррупционных рейтингах.

Заключение

Подводя итоги, следует отметить, что сложившаяся ситуация обусловлена следующими причинами: политическая нестабильность в стране, механизм государственного регулирования инновационных процессов и развития НИС в России не сформирован в должной мере, приняты лишь отдельные концептуальные и стратегические документы. Более того, меры, предпринятые государством по трансформированию институтов, не привели к должным результатам. Проблема институтов является довольно глубокой, многоаспектной и комплексной, более того, решение ее может занять довольно длительное время.

Как было отмечено ранее, в соответствии с институциональным подходом в повышении уровня инновационного развития России значительную роль играет государство и законодательство, поэтому все усилия должны быть направлены на развитие институтов, необ-

ходимо наладить взаимоотношения между элементами через реализацию аспектов инновационного развития РФ. Учитывая трудность и длительную протяженность по времени институциональных изменений, необходимо «правильно использовать знания – не только технологические, но и организационно-управленческие и экономические». Проанализировав опыт стран с близкой к России несовершенной институциональной средой (Чили, Мексика, Бразилия), и преломив через призму применимости к нашей стране, найти «собственное оригинальное решение». В качестве решения проблемы несовершенства институтов можно порекомендовать создавать и внедрять новые институты, позволяющие стимулировать инновационную активность в имеющейся среде с привлечением новых экономических агентов.

Список литературы

1. Альжанова Ф.Г. 2016. Национальные инновационные системы: сравнительный анализ на базе глобального индекса. Экономика: стратегия и практика. 2 (38): 6-16.
2. Варакса А.М., Залесова Д.Р. 2019. Возможность перехода российской экономики к инновационной системе развития в условиях современного экономического кризиса. Актуальные вопросы развития инновационной экономики. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого: 76-80.
3. Волкова С.В. 2015. Факторы, влияющие на внедрение инноваций в России. В сборнике: Актуальные вопросы современной науки. Сборник научных докладов 21-ой научно-практической конференции: 104-106.
4. Волконницкая К.Г., Ляпина С.Ю. 2014. Развитие региональных инновационных систем. Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 5 (24): 1-19.
5. Глобальный индекс инноваций. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.globalinnovationindex.org> (Дата обращения 30.11.2020).
6. Голиченко О.Г. 2012. Основные факторы развития национальной инновационной системы России. Инновации. 5 (163): 4–18.
7. Дорошенко Ю.А., Бережная А.В. 2019. Условия и факторы инновационного развития региона. В кн.: Экономика. Общество. Человек. Типы научной рациональности в информационном обществе: методологические аспекты. Материалы Всероссийской научно - практической конференции с международным участием. Вып. XXXVII. Т. 2. Белгород, Изд - во БГТУ: 109 – 115.
8. Индекс восприятия коррупции (ИВК) // Отчет международной неправительственной организации Transparency International. – 2020. – URL: [https://transparency.org.ru/research/CPI2020_Report_RU%20\[WEB\].pdf](https://transparency.org.ru/research/CPI2020_Report_RU%20[WEB].pdf)
9. Колотвинов А.Н. 2015. Проблемы внедрения инноваций в России. NovaInfo.Ru. Т.1. 32: 90-92.
10. Кошелева Т.Н. 2015. Инновационная политика как фактор развития малого предпринимательства. Экономика и управление. 4 (90): 75–78.
11. Кузнецов Е. 2002. Пробудиться, догнать и устремиться вперед: Механизмы запуска инновационного роста России. Препринт WP5/2002/07. М.: ГУВШЭ, 2002, 68.
12. Кузьминов Я.И., Радаев В.В., Яковлев А.А., Ясин Е.Г. 2005. Институты: От заимствования к выращиванию: Опыт российских реформ и возможное культивирование институциональных изменений. М.: ГУВШЭ: 5-27.
13. Маремкулова А.З. 2020. Коррупция в России // Научный электронный журнал Меридиан 4 (38): 9-11.
14. Притворова Т.П., Ситенко Д.А. 2010. Сравнительный анализ методических подходов к оценке эффективности национальной инновационной системы. АльПари. 4: 68–73.
15. Рудаенко В.Е., Подкуйко К.В. 2018. Информационно-аналитический обзор инновационной сферы стран мира на основе глобального индекса инноваций за 2017 г. В сборнике: Актуальные проблемы современности. материалы 13-й Всероссийской научно-практической конференции «Альтернативный мир». Ответственный редактор Д.В. Буяров: 146 – 157.
16. Состояние преступности в России // Сборник Главного управления правовой статистики и информационных технологий. – 2019. – URL: https://genproc.gov.ru/upload/iblock/034/sbornik_12_2019.pdf
17. Состояние преступности в России // Сборник Главного управления правовой статистики и информационных технологий. – 2020. – URL: https://genproc.gov.ru/upload/iblock/925/sbornik_9_2020.pdf

18. Фадейкина Н.В., Малина С.С. 2020. О национальной инновационной системе и реализации стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года. Непрерывное профессиональное образование и новая экономика. 1(6): 3-14.
19. Храмова Н.А. 2018. Развитие инновационной деятельности предприятий. Стратегии бизнеса. 7 (51): 23-26.
20. Целевые индикаторы реализации Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года: Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс] URL: http://old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science/ (Дата обращения 29.11.2020).
21. Роспатент: цифры, факты и проекты [Электронный ресурс]. URL: <https://rospatent.gov.ru/content/uploadfiles/annual-report-2019-short-version.pdf> (Дата обращения 02.12.2020).
22. Drucker P.F. 2007. Innovation and entrepreneurship: practice and principles. Amsterdam [etc.]: Elsevier; Oxford: Butterworth - Heinemann, 253.
23. Freeman, C. 1995. The «National System of Innovation» in Historical Perspective. Cambridge Journal of Economics. 19: 5 – 24.
24. Gassmann Oliver, Frankenberger Karolin, Sauer Roman. 2016. Exploring the Field of Business Model Innovation: New Theoretical Perspectives PDF. Palgrave Macmillan, 126 p.
25. Nelson R. 1993. National Innovation Systems. Oxford, Oxford University Press, 541.
26. OECD, 2018. Gross domestic spending on R&D: OECD Publishing.

References

1. Alzhanova, F. G. 2016. National innovation systems: comparative analysis based on the global index. Economics: Strategy and Practice. 2 (38): 6-16.
2. Varaksa A.M., Zalesova D. R. 2019. The possibility of the transition of the Russian economy to an innovative system of development in the conditions of the current economic crisis. Current issues of innovative economy development. Collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Yaroslavl the Wise Novgorod State University: 76-80.
3. Volkova S. V. 2015. Factors influencing the introduction of innovations in Russia. In the collection: Topical issues of modern science. Collection of scientific reports of the 21st scientific and practical conference: 104-106.
4. Volkonitskaya K. G., Lyapina S. Yu. 2014. Development of regional innovation systems. Online journal "SCIENCE Studies". 5 (24): 1-19.
5. Global Innovation Index. 2020. [Electronic resource]. URL: <https://www.globalinnovationindex.org> (Accessed 30.11.2020).
6. Golichenko O. G. 2012. The main factors of the development of the national innovation system of Russia. Innovation. 5 (163): 4 –18.
7. Doroshenko Yu. A., Berezhnaya A.V. 2019. Conditions and factors of innovative development of the region. In: Economics. Society. Person. Types of scientific rationality in the information society: methodological aspects. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International participation. Issue XXXVII. 2. Belgorod, BSTU Publishing House: 109-115.
8. Corruption Perception Index (CPI) // Report of the international non-governmental organization Transparency International. - 2020. - URL: [https://transparency.org/ru/research/CPI2020_Report_RU%20\[WEB\].pdf](https://transparency.org/ru/research/CPI2020_Report_RU%20[WEB].pdf)
9. Kolotilov A. N. 2015. Problems of innovation implementation in Russia. NovaInfo. Ru. Te. 1. 32: 90-92.
10. Kosheleva T. N. 2015. Innovation policy as a factor of small business development. Economics and Management. 4 (90): 75-78.
11. Kuznetsov E. 2002. Wake up, catch up and Rush forward: Mechanisms for Launching Russia's Innovative Growth. Preprint WP5 / 2002 / 07. Moscow: GUVSHE, 2002, 68.
12. Kuzminov Ya. I., Radaev V. V., Yakovlev A. A., Yasin E. G. 2005. Institutions: From borrowing to cultivation: The experience of Russian reforms and possible cultivation of institutional changes. Moscow: GUVSHE: 5-27.
13. Marenkulov A. Z. 2020. Corruption in Russia // Scientific electronic journal Meridian 4 (38): 9-11.
14. Pritvorova T. P., Sitenko D. A. 2010. Comparative analysis of methodological approaches to assessing the effectiveness of the national innovation system. Alpari. 4: 68-73.

15. Rudaenko V. E., Podkuiko K. V. 2018. Information and analytical review of the innovation sphere of the countries of the world based on the global innovation index for 2017 In the collection: Actual problems of our time. materials of the 13th All-Russian scientific and Practical Conference "Alternative World". Executive editor D. V. Buyarov: 146-157.
16. The state of crime in Russia // Collection of the Main Department of Legal Statistics and Information Technologies. – 2019. - URL: https://genproc.gov.ru/upload/iblock/034/sbornik_12_2019.pdf
17. The state of crime in Russia // Collection of the Main Department of Legal Statistics and Information Technologies. – 2020. - URL: https://genproc.gov.ru/upload/iblock/925/sbornik_9_2020.pdf
18. Fadeikina N. V., Malina S. S. 2020. On the national innovation system and the implementation of the strategy of innovative development of the Russian Federation for the period up to 2020. Continuing professional education and the new economy. 1(6): 3-14.
19. Khramtsova N. A. 2018. Development of innovative activity of enterprises. Business strategies. 7 (51): 23-26.
20. Target indicators of the implementation of the Strategy of Innovative Development of the Russian Federation for the period up to 2020: Federal State Statistics Service. [Electronic resource] URL: http://old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistici/science_and_innovations/en/ (Accessed 29.11.2020).
21. Rospatent: figures, facts and projects [Electronic resource]. URL: <https://rospatent.gov.ru/content/uploadfiles/anual-raport-2019-scurt-versiune.pdf> (Accessed 02.12.2020).
22. Drucker P. F. 2007. Inovație și antreprenoriat: practică și principii. Amsterdam [etc.]: Elsevier; Oxford: Butterworth-Heinemann, 253.
23. Freeman, C. 1995. "Sistemul Național de inovare" în perspectivă istorică. Cambridge Jurnalul de Economie. 19: 5 – 24.
24. Gassmann Oliver, Frankenberger Karolin, Sauer Roman. 2016. Explorarea domeniului Inovarii modelului de afaceri: noi perspective teoretice PDF. Palgrave Macmillan, 126 p.
25. Nelson R. 1993. Sisteme Naționale De Inovare. Oxford, Oxford University Press, 541.
26. OCDE, 2018. Cheltuielile interne brute pentru cercetare și dezvoltare: OCDE Publishing.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Григорьев Евгений Алексеевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика предпринимательской деятельности» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», г. Новосибирск

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Evgeny A. Grigoriev, candidate of economic Sciences, Associate Professor of the Department of Business Economics Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

УДК 332.01,332.05

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-44-58

Стратегия «умной специализации»: характерные признаки и условия успешной реализации в регионе

Шевченко С.А., Кузьмина Е.В., Кузьмина М.И.

Волгоградский государственный технический университет,

Россия, 400005, г. Волгоград, ул. Ленина, 75

E-mail: svetashev@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – уточнение характерных признаков стратегии «умной специализации» и выявление условий её успешной реализации в регионе. В статье проанализированы подходы к определению стратегии «умной специализации» с позиции разных авторов и уточнены её характерные признаки (инновационный, диверсификационный и стратегический характер, уникальность, направленность на экономическое развитие территории региона, необходимость инвестиций и государственной поддержки при реализации стратегии, эффективное сотрудничество с другими регионами, взаимодействие между заинтересованными сторонами в направлении инновационной деятельности и другие). Определено, что основополагающими элементами стратегии «умной специализации» являются: инновации; государственная поддержка; межрегиональное сотрудничество; взаимодействие государство-бизнес-наука; предпринимательская инициатива; диверсификация региональной экономики, инвестиции для развития высокотехнологичных и наукоемких отраслей специализации; уникальные ресурсы региона. В статье уточнены предпосылки необходимости разработки и реализации стратегии «умной специализации» в регионе (усиление конкуренции на внутренних и внешних рынках; дефицит технологических, финансовых и других ресурсов, слабая степень процессов модернизации в промышленности; низкая доля вовлеченности академического сектора в процесс создания инноваций; слабая степень сетевого научного сотрудничества и другие) и предложены этапы разработки стратегии «умной специализации» в регионе. В ходе исследования были получены выводы о том, что к условиям успешной реализации стратегии «умной специализации» в регионе относятся: информационное освещение среди всех заинтересованных лиц; высокий уровень сотрудничества и доверия между государством, университетами и бизнесом; наличие коммерческой ценности и востребованности результатов научных исследований в регионе и вне его; положительный инвестиционный климат в регионе; стимулирование предпринимательской активности региона; наличие предпринимательских университетов как субъектов стимулирования инновационной деятельности для создания предпринимательской среды и другие.

Ключевые слова: регион, уникальные ресурсы региона, инновационные кластеры, предпринимательская инициатива, технологическая модернизация, государственная поддержка.

Для цитирования: Шевченко С.А., Кузьмина Е.В., Кузьмина М.И. 2021. Стратегия «умной специализации»: характерные признаки и условия успешной реализации в регионе. Экономика. Информатика, 48 (1): 44–58. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-44-58.

Strategy of «smart specialization»: characteristics and conditions for successful implementation in the region

Svetlana A. Shevchenko, Ekaterina V. Kuzmina, Maria I. Kuzmina

Volgograd State Technical University,

75 Lenin St, Volgograd, 400005, Russia

E-mail: svetashev@mail.ru

Abstract. The purpose of the study is to clarify the characteristic features of the “smart specialization” strategy and to identify the conditions for its successful implementation in the region. The article analyzes the approaches to defining the strategy of “smart specialization” from the standpoint of various authors and clarifies its characteristic features (innovative, diversified and strategic nature, uniqueness, focus on the economic development of the region's territory, the need for investment and state support in implementing the strategy,

effective cooperation with others regions, interaction between stakeholders in the direction of innovation, and others). It was determined that the fundamental elements of the smart specialization strategy are: innovation; governmental support; interregional cooperation; government-business science interaction; entrepreneurial initiative; diversification of the regional economy, investments for the development of high-tech and knowledge-intensive industries of specialization; unique resources of the region. The article clarifies the prerequisites for the need to develop and implement a smart specialization strategy in the region (increased competition in domestic and foreign markets; lack of technological, financial and other resources, a weak degree of modernization processes in industry; a low share of involvement of the academic sector in the process of creating innovations; weak the degree of network scientific cooperation and others) and the stages of developing a strategy of "smart specialization" in the region are proposed. In the course of the study, it was concluded that the conditions for the successful implementation of the "smart specialization" strategy in the region include: information coverage among all stakeholders; a high level of cooperation and trust between the state, universities and business; the presence of commercial value and relevance of the results of scientific research in the region and beyond; a positive investment climate in the region; stimulating entrepreneurial activity in the region; the presence of entrepreneurial universities as subjects of stimulating innovation to create an entrepreneurial environment, and others.

Keywords: region, unique resources of the region, innovation clusters, entrepreneurial initiative, technological modernization, government support.

For citation: Shevchenko S.A., Kuzmina E.V., Kuzmina M.I. 2021. Strategy of «smart specialization»: characteristics and conditions for successful implementation in the region. Economics. Information technologies, 48 (1): 44–58 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-44-58.

Введение

На современном этапе развития экономики важное значение уделяется развитию регионов. Государством разрабатываются различные нормативные акты в этом направлении, где декларируются приоритеты развития регионов.

В 2019 году в России была утверждена «Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года», в которой в качестве приоритетов выступают экономическое и социальное развитие регионов России на основе научных исследований и внедрения новых технологий [Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года]. В документе подчеркивается, что конкурентоспособность регионов России должна быть обеспечена развитием приоритетных специализаций регионов на основе создания центров экономического роста. Формирование перспективных направлений специализации региона является важным фактором обеспечения экономического развития как территории региона, так и государства в целом.

Одним из инструментов формирования перспективных направлений специализации территории является стратегия «умной специализации», которая основывается на научно-исследовательских разработках, технологическом обновлении и инновационном потенциале территории.

На современном этапе развития экономической науки стратегия «умной специализации» является объектом многочисленных научных исследований как в России, так и за рубежом.

Однако положительный практический опыт реализации стратегии «умной специализации» в большей степени представлен в зарубежных регионах. В России стратегия «умной специализации» только набирает обороты. В работах российских исследователей рассматриваются теоретические аспекты данного вопроса, которые включают выявление сущности понятия «умной специализации», особенности и условия использования стратегии «умной специализации», взаимосвязь с инновационными кластерами и другие. Также следует отметить, что в большинстве регионов России разработаны нормативные документы по реализации стратегии «умной специализации», что свидетельствует о перспективности данного направления для экономического и социального развития региона.

Основные результаты исследования

Анализ научных экономических исследований показал, что «умная специализация» представляется в работах исследователей как концепция и как стратегия.

Тем не менее большинство авторов трактуют «умную специализацию» как стратегию инновационного развития территории.

Например, Г.И. Татенко связывает стратегию «умной специализации» с цифровой экономикой, полагая, что данная стратегия реализуется в условиях цифровой экономики и служит для создания новых направлений специализации региона. Автор отмечает диверсификационный характер стратегии и необходимость наличия предпринимательских возможностей [Татенко, 2019].

В региональном аспекте рассматривают стратегию «умной специализации» Э. Караяннис и Э. Григорудис, определяя ее как стратегию инновационной деятельности на региональном уровне. Авторы утверждают, что цель стратегии – обеспечение экономического роста региона и формирование его конкурентных преимуществ на основе инновационного потенциала с учетом потребностей бизнеса и тенденций внешней среды [Караяннис, Григорудис, 2016].

Такую особенность стратегии как концентрация ресурсов на приоритетных направлениях развития территории отмечают в своем исследовании О.В. Иншаков и Е.И. Иншакова. Авторы доказывают, к условиям эффективной реализации стратегии относятся: вовлечение предпринимательских структур, учреждений образования и науки в работу по выбору приоритетов развития территории, привлечение частных и государственных инвестиций и их рациональное использование [Иншаков, Иншакова, 2017].

В научных исследованиях прослеживается взаимосвязь стратегии «умной специализации» с кластерным подходом к экономическому развитию региона.

С.В. Кумакова в своей работе отмечает важную роль инновационных кластеров в реализации стратегии «умной специализации», которая заключается в формировании инновационного потенциала территории [Кумакова, 2019].

С позиции Е.В. Кузьминой, инновационный кластер – это совокупность организаций и предприятий различных организационно-правовых форм собственности, располагающихся на территории субъекта и осуществляющих взаимовыгодную деятельность, направленную на экономический рост как участников кластера, так и в целом территории региона. Значимость для развития экономики региона кластеров заключается в стимулировании инноваций в регионе, привлечении к ним представителей бизнеса и активизации производственного сектора экономики региона. Инновационный кластер позволяет решать финансовые, экономические, научные и социальные проблемы региона в условиях ограниченности ресурсов [Кузьмина, Шевченко, Кузьмина, 2020].

С.В. Кумакова выделяет условия развития инновационных кластеров в рамках стратегии «умной специализации». Инновационные кластеры должны: быть включены в формирование и реализацию региональной политики; инициировать инновационную деятельность в регионе; иметь свое место в стратегическом развитии региона; способствовать укреплению межрегиональных и межкластерных связей; использовать научный потенциал в рамках инновационных проектов и другие [Кумакова, 2019].

По мнению А.Н. Дырдоновой, роль инновационных кластеров в реализации стратегии «умной специализации» заключается в наличии знаний, инноваций и инвестиций для определения приоритетных областей специализации региона, которые будут обеспечивать экономический рост региона. Инновационные кластеры позволяют обеспечить региону степень оригинальности и специализации и как результат конкурентные преимущества по сравнению с другими регионами [Дырдонова, 2019].

В свою очередь «умная специализация» позволит инновационным кластерам эффективно использовать ресурсы и сосредоточить их на приоритетных направлениях развития территории региона.

Экономическое развитие региона в долгосрочной перспективе обеспечивается конкурентными преимуществами региона, технологическими преобразованиями в промышленности, обновлениями факторов производства; эффективным взаимодействием с государством и бизнесом; привлечением инвестиций и другими факторами. Инновационные кластеры позволяют сформировать эти факторы для развития региона [Шевченко, Морозова, Кузьмина, Кузьмина, Минаева, 2020].

Особенно для развития экономики региона важны инновационно-производственные факторы, которые включают: модернизацию основных фондов и автоматизацию производственных процессов; снижение издержек производства; повышение производительности труда и качества продукции; повышение эффективности использования производственных ресурсов; снижение производственных рисков, в том числе связанных с человеческим фактором; расширение использования преимуществ инновационных технологий и другие [Морозова, Шевченко, Кузьмина, 2020].

В целом теоретический анализ научной экономической литературы дает нам основание заключить, что стратегия «умной специализации» способствует экономическому росту региона и имеет ряд характерных признаков.

К характерным признакам стратегии «умной специализации» относятся:

- инновационный характер стратегии, который проявляется в создании и реализации инноваций, в том числе через формирование и деятельность инновационных кластеров;
- уникальность стратегии, проявляющаяся в определении приоритетных отраслей специализации на основе накопленных ресурсов и компетенций территории;
- целенаправленность на экономическое развитие за счет формирования конкурентных преимуществ территории, основанных на собственном научном и инновационном потенциале;
- стратегический характер стратегии, проявляется в обеспечении долгосрочного эффекта экономического развития территории;
- предпринимательская инициатива, включающая предпринимательский поиск направлений специализации на основе потребностей общества, бизнеса и учета ресурсов территории;
- необходимость государственной поддержки в области создания условий для конкуренции, развития науки и образования, стимулирование спроса через систему закупок;
- диверсификационный характер стратегии, включающий расширение границ экономической активности территории *в зависимости от конъюнктуры рынка и спроса*;
- необходимость инвестиций (государственных и частных) для реализации научной и инновационной деятельности;
- эффективное сотрудничество с другими регионами с целью укрепления регионального потенциала и получение наибольшей отдачи от внешних технологий и возможностей;
- концентрация ресурсов на нескольких приоритетных и наиболее перспективных областях, обеспечивающих конкурентное преимущество экономики региона;
- взаимодействие между заинтересованными сторонами (государство, бизнес, общество и наука) в направлении формирования единого представления о направлениях достижения конкурентного преимущества региона.

Таким образом, основополагающими элементами стратегии «умной специализации» являются: инновации; государственная поддержка; межрегиональное сотрудничество; взаимодействие государство-бизнес-наука; предпринимательская инициатива; диверсификация региональной экономики, инвестиции для развития высокотехнологичных и наукоемких отраслей специализации; уникальные ресурсы региона.

Обратимся к практическому опыту реализации стратегии «умной специализации».

Практически во всех регионах России разработаны свои Концепции пространственного развития, в которых уделяется место стратегии «умной специализации». Следует отметить, что в целом такие стратегии содержательно очень похожи в своих приоритетных направлениях (поддержка инноваций, взаимодействие бизнеса, государства и науки, дея-

тельность инновационных кластеров, предпринимательская инициатива и другие). Различие заключается в формировании отраслей специализации с учетом локальных условий конкретного региона.

Анализ научной экономической литературы показал малое количество научных исследований по описанию практического опыта реализации стратегии «умной специализации».

Об особенностях реализации стратегии «умной специализации» в регионах России можно судить в основном только с позиции изданных нормативных документов. Это свидетельствует о том, что опыт в этом направлении еще не накоплен.

Опыт реализации стратегии «умной специализации» имеется в Ульяновской области. В регионе в 2017 году была принята Концепция внедрения интеллектуальных цифровых технологий в Ульяновской области «Умный регион» на 2017–2030 годы. В данном документе определены основные приоритеты стратегии «умной специализации».

В частности, в Концепции определено понятие стратегии «умной специализации», связанное с выбором ограниченного числа приоритетных сфер. Основной акцент в реализации концепции «умной специализации» сделан на выявлении сильных сторон региона с учетом региональных особенностей и потребностей жителей региона и необходимости инвестиций. [Концепция внедрения интеллектуальных цифровых технологий в Ульяновской области «Умный регион» на 2017–2030 годы.]

Стратегия «умной специализации» основывается на взаимодействии государства, бизнес-сообщества и гражданского общества при реализации инновационных проектов, основах цифровой экономики и международном сотрудничестве в сфере развития ИКТ. В рамках стратегии «умной специализации» развиваются высокотехнологичные и наукоемкие отрасли, в результате чего увеличивается доля инновационных товаров, работ и услуг. Важную роль в реализации стратегии играют инновационные кластеры, которые позволяют привлечь дополнительные инвестиции в регион.

В Красноярском крае стратегия «умной специализации» сопровождается следующими действиями региональных властей: формирование точек экономического роста и инфраструктуры с использованием механизмов государственно-частного партнерства; использование налоговых механизмов, стимулирующих реализацию капиталоемких проектов; формирование системы подготовки квалифицированных кадров для приоритетных отраслей; стимулирование научной и инновационной деятельности посредством взаимодействия бизнеса с научными учреждениями [Стратегия социально-экономического развития Красноярского края до 2030 года].

Во многих других регионах России подготовлены свои Стратегии социально-экономического развития на период до 2030 года. В данных стратегиях отражены такие особенности стратегии «умной специализации» как инновационный характер; взаимодействие всех заинтересованных лиц в рамках инновационной деятельности, стимулирование инвестиционной деятельности, формирование инновационных кластеров как точек экономического роста, развитие предпринимательской инициативы и другие.

В Самарской области Министерством экономического развития и инвестиций предпринимательская инициатива реализуется через различные программы для представителей бизнеса. Примером может служить программа «Школа чемпионов». Данная инициатива имеет целью привлечение бизнес-структур к разработке инноваций в регионе [Дмитриев, 2020].

Ожидаемыми результатами программы являются: сформированные у представителей бизнеса навыки в использовании инструментов цифровой трансформации для разработки инноваций; рост эффективности инновационных проектов на основе эффективного взаимодействия бизнеса, государства и экспертов; рост вовлеченности молодежи в осуществление инновационной деятельности; запуск стартапов.

В реализации стратегии «умной специализации» в регионах России важная роль отводится вузам, которые позволяют стимулировать предпринимательскую активность региона.

Г.М. Самостроев в своем исследовании доказывает, что на научную ориентацию вузов в регионе влияют ряд факторов, которые вузы не в полной мере используют. К таким факторам относятся следующие: возможности реализации инновационных разработок для промышленности региона; соотношение между направлениями исследования и получаемым доходом вуза; наличие связей с предприятиями региона в области научной деятельности; возможность экспорта научных знаний; востребованность конкретных направлений научных исследований у абитуриентов и студентов; другие [Самостроев, 2019].

Г.М. Самостроев в своей работе описывает опыт в реализации стратегии «умной специализации» вузов Орловской области. Приоритеты научных исследований (структурно-аналитическая мезомеханика наноструктурных материалов и технологий, теория и принципы конструирования медицинских комплексов и оборудования, и другие) были определены в рамках приоритетных направлений научно-технологического развития России. Данные приоритеты были обусловлены наличием производственных предприятий в регионе; затратами на научные исследования и прибылью от них; востребованностью конкретных направлений научных исследований у абитуриентов и студентов.

Вузы Орловской области в направлении развития предпринимательской инициативы взаимодействуют с промышленными предприятиями через Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

В рамках этого взаимодействия можно выделить следующие приоритеты: создание высокотехнологичной продукции; получение коммерческой прибыли от реализации инновационной продукции; приток квалифицированных работников в высокотехнологическую сферу; привлечение инвестиций в сферу малого инновационного предпринимательства.

Вузы ориентируются в первую очередь на создание следующих условий для реализации стратегии «умной специализации»: коммерческая ценность и востребованность результатов научных исследований; учет запроса заинтересованных лиц (предприятия, госбюджетные организации, общество) на инновации, и необходимость проведения маркетинговых исследований с целью определения потребностей заинтересованных лиц; направленность научных разработок на практическое использование; привлечение студентов к научной деятельности и внедрение в вузе нового уровня системы обучения прикладного характера, при котором студенты решают задачи в интересах потенциального покупателя; создание творческих групп студентов разного профиля (технического, экономического и других) для работы над проектами для конкретного заказчика бизнес-сообщества или органов власти; финансирование научных исследований студентов со стороны бизнес-структур и государства.

На основе рассмотрения практики реализации стратегии «умной специализации» в некоторых наиболее продвинутых регионах России можно выделить некоторые особенности данной стратегии в регионах России (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Особенности реализации стратегии «умной специализации» в регионах России
Features of the implementation of the smart specialization strategy in the regions of Russia

| Регион России | Особенности реализации стратегии «умной специализации» |
|---------------------|---|
| Ульяновская область | <ul style="list-style-type: none"> - Выбор приоритетных отраслей региона на основе сильных сторон региона с учётом региональных особенностей и потребностей жителей региона; - создание инновационных кластеров для реализации инновационных проектов; - работа по привлечению инвестиций в регион для развития высокотехнологичных и наукоемких отраслей и увеличения доли инновационных товаров, работ и услуг; - осуществление взаимодействия государства, бизнеса и гражданского общества при реализации инновационных проектов; - осуществление международного сотрудничества для целей экономического роста региона. |

Окончание табл. 1

| 1 | 2 |
|-------------------|--|
| Красноярский край | <ul style="list-style-type: none"> - Формирование точек экономического роста и инфраструктуры в рамках приоритетных отраслей специализации; - государственная поддержка за счет использования налоговых механизмов, стимулирующих реализацию капиталоемких проектов; - стимулирование научной и инновационной деятельности в регионе; - осуществление взаимодействия государства и бизнеса через механизм государственно-частного партнерства; - формирование системы подготовки квалифицированных кадров для приоритетных отраслей; - взаимодействие бизнеса с научными учреждениями региона. |
| Самарская область | <ul style="list-style-type: none"> - Развитие инновационной деятельности в регионе за счет привлечения бизнес-структур к разработке инноваций; - организация эффективного взаимодействия бизнеса, государства; - осуществление работы по вовлеченности молодежи в осуществление инновационной деятельности в регионе; - создание новых предпринимательских организаций-стартапов. |
| Орловская область | <ul style="list-style-type: none"> - Стимулирование предпринимательской активности региона на основе взаимодействия с вузами региона; - организация научных исследований в рамках приоритетных направлений научно-технологического развития России; - стимулирование притока квалифицированных работников в высокотехнологические отрасли региона; - организация взаимодействия вузов и промышленных предприятий с целью получения коммерческой прибыли от реализации инновационной продукции; - привлечение инвестиций в сферу малого инновационного предпринимательства. |

Обратимся к успешному практическому опыту реализации стратегии «умной специализации» в зарубежных регионах.

Опыт реализации стратегии «умной специализации» в Республике Молдова описывает в своем исследовании Л.А. Шавга. Реализация стратегии «умной специализации» в Республике Молдова началась с 2016 года и была обусловлена наличием следующих предпосылок: усилением конкуренции на внутренних и внешних рынках, снижением показателей экономического развития территории Республики Молдова, проблемы с внедрением научной и инновационной деятельности в сферу производства; слабое государственное финансирование научных разработок; отсутствие взаимосвязи между содержанием стратегических документов региона и локальными условиями и другие [Шавга, 2020].

Реализация стратегии «умной специализации» осуществлялась через ряд этапов: повышение осведомленности общества о стратегии «умной специализации» и её влиянии на экономическое развитие (через проведение различных семинаров); анализ научного, инновационного и экономического потенциала Республики Молдова (выявление сильных сторон и возможностей для инноваций для приоритетов «умной специализации»); определение приоритетных отраслей для стратегии «умной специализации» с учетом экономического потенциала (разделение на отрасли с приоритетами, ориентированными на науку; на технологии и инновации); определение сфер предпринимательской деятельности для приоритетных отраслей стратегии «умной специализации» (проведение семинаров по предпринимательскому поиску); разработка региональной политики с учетом стратегии «умной специализации» и выбор эффективных инструментов для достижения целей.

Особое место в региональной инновационной политике должна занимать стратегия «умной специализации», которая может включать ряд инновационных стратегий, основанных на конкурентных преимуществах региона в области научно-технологической сферы и с учетом потребностей бизнеса. В рамках инновационных стратегий должны осуществлять свою деятель-

ность инновационные кластеры в сотрудничестве с производственным сектором. Именно инновационные кластеры позволят инициировать позитивные структурные изменения в экономике региона [Хмелева, Королева, Курникова, 2019].

Начальными результатами реализации стратегии «умной специализации» явились: позитивные процессы экономических преобразований в регионах Республики Молдова на основе эффективного использования инновационного потенциала и осуществление взаимовыгодного сотрудничества государства, бизнеса и науки.

А. Бош и Н. Вонортас в своей работе обобщили опыт Бразилии в реализации стратегии «умной специализации». К необходимости внедрения стратегии «умной специализации» привели следующие причины: наличие барьеров в реализации инновационной деятельности; слабая степень сетевого научного сотрудничества в регионе; высокая степень централизации инновационной системы страны; высокая доля неконкурентоспособных исследований в частном секторе; слабая вовлеченность академического сектора в процесс создания инноваций; конкуренция между образовательной, научно-исследовательской и производственной подсистемами и другие [Бош, Вонортас, 2019].

Цель стратегии «умной специализации» – это устранение барьеров для инновационной деятельности и структуризация региональной инновационной политики. Стратегия «умной специализации» в Бразилии реализуется через этапы, которые включают: анализ экономического потенциала региона, выявление конкурентных преимуществ; определение приоритетов для политических инициатив; принятие согласованной долгосрочной стратегии по повышению конкурентоспособности и устойчивости экономики региона. Значимая роль в реализации стратегии отводится опорным институтам, каждый из которых относится к определённому компоненту развитой и разветвленной инновационной системы.

Стратегия «умной специализации» в Бразилии непосредственно связана с деятельностью инновационных кластеров. Инновационные кластеры объединяют компании, расположенные в одном регионе и которые координируются общим направлением специализации. Компании взаимодействуют с региональными властями, научными институтами, бизнес-ассоциациями и финансирующими организациями.

Преимуществами кластеров являются: экономический эффект за счет экономии от масштаба; повышение качества продукции и производительности труда; снижение рисков и оптимизация финансовых затрат при осуществлении инновационных проектов; создание условий для обмена опытом и наращивания инновационного потенциала; выявление новых наукоемких направлений для трансформации региональной экономики.

К основным препятствиям в реализации стратегии «умной специализации» в Бразилии можно отнести: ограниченные ресурсы человеческого и технологического капитала в государственном и частном секторах; низкий уровень сотрудничества и доверия между государством, университетами и бизнесом; слабое информационное освещение результатов инициатив инновационной политики, особенно на региональном уровне; недостаточность финансовых ресурсов для реализации стратегий развития научной сферы и другие.

Проблемы реализации стратегии «умной специализации» в европейских странах связаны с цифровыми компетенциями государственных органов. Например, в Латвии существует проблема осуществления научно-исследовательской деятельности с использованием цифровых технологий, что не позволяет осуществить непрерывную обработку результатов исследований [Reid, 2018, Rainoldi, 2018]. В Румынии существует проблема привлечения стейкхолдеров в инновационную деятельность. В Ирландии при переходе к стратегии «умной специализации» регионы подвержены влиянию политических партий [Ranga, 2018].

Опыт Республики Казахстан представлен в работе Н.К. Нурлановой. К необходимости разработки стратегии «умной специализации» в Республике Казахстан привели следующие обстоятельства: нерациональная региональная структура экономики (разнородность регионов по экономическому развитию; высокая экономическая дифференциация промышленного производства в регионах; низкий уровень государственного и частного финансирования научно-исследовательской деятельности; снижение эффективности человеческого капитала и

как следствие формирование новых знаний; преобладание в регионах процессов заимствования инноваций, а не создания собственных инноваций, в результате чего снижается спрос на продукцию новых производств и влияние «точек роста» на слабые регионы; слабая степень влияния регионов-лидеров на экономический рост отсталых регионов; слабые стимулирующие меры региональной политики, направленные на инновационное развитие экономики регионов; дефицит трудовых, технологических, финансовых и других ресурсов регионов. В результате действие всех факторов привело к снижению экономического роста Республики Казахстан [Нурланова, 2019].

Первоначально планировалось, что цель стратегии «умной специализации» – распространение потенциала ведущих отраслей на отсталые регионы. Стратегия «умной специализации» включала следующие мероприятия: технологическая модернизация в отстающих регионах; поиск «точек роста» как центров модернизации, индустриального и постиндустриального развития («точки роста» – взаимосвязанные города, которые обладают конкурентными преимуществами), которые будут за счет производства инноваций стимулировать развитие отсталых регионов; разработка сценариев реализации стратегии на основе дифференцированного подхода к пространственному развитию; развитие прочных экономических связей между регионами.

Технологическая модернизация Республики Казахстан осуществлялась в рамках стратегических направлений: стимулирование инновационного предпринимательства в направлении создания новых рынков продукции и услуг; стимулирование предпринимательской активности в отношении сетевых взаимодействий (государство, бизнес, общество, наука); активизация человеческого капитала на территории Республики Казахстан и повышение эффективности его использования с аспекта создания новых знаний; использование механизмов политики опережающего развития городов, выбранных в качестве «точек роста», и поддержка их со стороны государства (государственные программы, введение особых режимов хозяйствования, формирование инвестиционного климата, развитие городской инфраструктуры, укрепление человеческого потенциала и другие); создание предпринимательских университетов как субъектов стимулирования инновационной деятельности и создания предпринимательской среды, деятельность которых будет связана с выполнением фундаментальных и прикладных научно-исследовательских проектов по созданию малых инновационных компаний.

Были разработаны три сценария реализации стратегии в зависимости от уровня инновационного потенциала региона. Для регионов с высоким уровнем инновационного потенциала: создание кластерных зон с опорой на центр инноваций с эффективной системой стимулирования научно-исследовательской деятельности и государственной поддержкой. Ожидаемый результат – повышение спроса на новые научные и инженерные кадры, формирование развитой инновационной системы. Для регионов со средним уровнем инновационного потенциала: развитие базовых отраслей, обновление отечественных технологий и переустройства экономики регионов за счет использования иностранных технологий. Для регионов с низким уровнем инновационного потенциала: создание благоприятных условий для обеспечения технологического обновления традиционных отраслей и формирования новых эффективных отраслей и производств при наличии государственной поддержки. Очевидно, что первый сценарий позволит сформировать «точки роста», которые будут оказывать влияние на развитие других регионов.

Особенности стратегии «умной специализации» в зарубежных регионах имеют свою специфику (табл. 2).

Таким образом, на примерах практического опыта реализации стратегии «умной специализации» можно сделать следующие выводы:

- практический опыт реализации стратегии «умной специализации» имеет место быть как в российских регионах, так и за рубежом;
- в российских регионах данный процесс на начальной стадии – разработке нормативных документов в этом направлении, а также имеют место быть отдельные элементы страте-

гии «умной специализации» (формирование предпринимательской инициативы, формирование опорных вузов для осуществления научной деятельности и другие);

- наиболее информативен зарубежный практический опыт реализации стратегии «умной специализации», который позволяет уточнить: 1) предпосылки необходимости разработки и реализации стратегии «умной специализации»; 2) этапы разработки стратегии «умной специализации»; 3) условия успешной реализации стратегии «умной специализации»;

- анализ практического опыта подтверждает особенности стратегии «умной специализации», выявленные в статье выше (уникальность стратегии, целенаправленность на экономическое развитие, наличие эффективного сотрудничества с другими регионами с целью укрепления регионального потенциала; приоритеты инновационной деятельности; предпринимательская инициатива и другие).

Таблица 2

Table 2

Особенности реализации стратегии «умной специализации» в зарубежных регионах и странах
Features of the implementation of the smart specialization strategy in foreign regions and countries

| Страна, регион | Особенности реализации стратегии «умной специализации» |
|----------------------|--|
| Республика Молдова | <ul style="list-style-type: none"> - наличие этапов реализации стратегии; - проведение семинаров для общества с целью повышения его осведомленности о создании и реализации стратегии «умной специализации» и её влиянии на экономическое развитие республики; - определение приоритетных отраслей специализации республики на основе экономического потенциала территории; - создание инновационных кластеров с целью развития инновационной деятельности и инициирования структурных изменений в отраслевой структуре республики; - организация сотрудничества государства, бизнеса и науки в области инновационного и научно-технологического развития республики. |
| Бразилия | <ul style="list-style-type: none"> - наличие этапов реализации стратегии; - развитие опорных университетов как основы инновационной деятельности; - создание инновационных кластеров (которые объединяют компании, расположенные в одном регионе, и координируются общим направлением специализации) для выявления новых наукоемких направлений для трансформации региональной экономики; - организация взаимодействия региональных властей, научных институтов, бизнес-ассоциаций и финансовых организаций; - межрегиональное взаимодействие с целью обмена опытом и наращивания инновационного потенциала региона. |
| Республика Казахстан | <ul style="list-style-type: none"> - технологическая модернизация в отстающих регионах; - определение на территории региона «точек роста» – территорий, где будут создаваться инновации, что будет способствовать стимулированию развития отсталых регионов; - разработка сценариев реализации стратегии на основе дифференцированного подхода к пространственному развитию и в зависимости от уровня инновационного потенциала региона; - развитие межрегионального сотрудничества; - стимулирование предпринимательской активности в отношении сетевых взаимодействий государство-бизнес-общество-наука; - создание условий для развития человеческого капитала и повышение эффективности его использования с аспекта создания новых знаний; - стимулирование инновационной деятельности на основе создания предпринимательских университетов; - разработка и реализация научно-исследовательских проектов по созданию малых инновационных компаний. |

Заключение

Научный интерес к стратегии «умной специализации» с каждым годом растет. Стратегия «умной специализации» является объектом многочисленных научных экономических исследований. Актуальность темы прежде всего обусловлена и практической значимостью для экономического развития регионов.

Стратегия «умной специализации» имеет следующие характерные признаки: инновационный, диверсификационный и стратегический характер, уникальность, целенаправленность на экономическое развитие территории, предпринимательский поиск направлений специализации, необходимость инвестиций и государственной поддержки, эффективное сотрудничество с другими регионами, взаимодействие между заинтересованными сторонами в направлении инновационной деятельности и другие.

Обобщение практического опыта в направлении реализации стратегии «умной специализации» позволило нам уточнить предпосылки необходимости разработки и реализации стратегии «умной специализации» в регионе:

- в области конкуренции на рынках – усиление конкуренции на внутренних и внешних рынках; конкуренция между образовательной, научно-исследовательской и производственной подсистемами региона;

- в области ресурсов – дефицит технологических, финансовых и других ресурсов регионов; снижение эффективности человеческого капитала и как следствия формирования новых знаний;

- в области производственной деятельности – слабая степень внедрения научных разработок в сферу производства; слабая степень процессов модернизации в промышленности; высокая экономическая дифференциация промышленного производства в регионах;

- в области реализации инноваций – высокая степень централизации инновационной системы региона и низкая доля вовлеченности академического сектора в процесс создания инноваций; слабая степень сетевого научного сотрудничества в регионе; высокая доля неконкурентоспособных исследований в частном секторе;

- в области государственной поддержки – низкий уровень государственного и частного финансирования научно-исследовательской деятельности;

- в области региональной политики – отсутствие взаимосвязи между содержанием стратегических документов региона и локальными условиями региона; нерациональная региональная структура экономики (разнородность регионов по экономическому развитию); слабая степень влияния регионов-лидеров на экономический рост отсталых регионов; слабые стимулирующие меры региональной политики, направленные на инновационное развитие экономики регионов.

При разработке и реализации стратегии «умной специализации» можно выделить несколько этапов:

- повышение осведомленности заинтересованных лиц региона о стратегии «умной специализации» и её влиянии на экономическое развитие (через проведение различных семинаров);

- анализ экономического потенциала региона, выявление конкурентных преимуществ для реализации стратегии «умной специализации»;

- определение приоритетных отраслей для стратегии «умной специализации» с учетом экономического потенциала;

- определение сфер предпринимательской деятельности для формирования приоритетных отраслей, развитие предпринимательской активности в регионе через проведение различных мероприятий по разработке инноваций;

- технологическая модернизация в производстве в направлении создания новых рынков продукции и услуг;

- поиск «точек роста» как центров модернизации и индустриального развития, которые обладают конкурентными преимуществами и будут за счет производства инноваций и сотрудничества стимулировать развитие отсталых регионов;

- создание предпринимательских университетов как субъектов стимулирования инновационной деятельности и создания предпринимательской среды в регионе;
- разработка и принятие согласованной долгосрочной региональной политики, в которой особое место отводится стратегии «умной специализации» с участием государства, бизнеса, общества и науки.

К условиям успешной реализации стратегии «умной специализации» в регионах с нашей точки зрения относятся:

- информационное освещение стратегии «умной специализации» в регионах среди всех заинтересованных лиц;
- наличие коммерческой ценности и востребованности результатов научных исследований в регионе и вне его;
- получение коммерческой прибыли от реализации инновационной продукции;
- высокий уровень сотрудничества и доверия между государством, университетами и бизнесом;
- наличие программ повышения квалификации работников в высокотехнологических сферах производства;
- положительный инвестиционный климат;
- возможности привлечения инвестиций в сферу малого инновационного предпринимательства;
- стимулирование предпринимательской активности региона; наличие предпринимательских университетов как субъектов стимулирования инновационной деятельности для создания предпринимательской среды;
- наличие технологических, финансовых и других ресурсов регионов;
- поддержка их со стороны государства «точек экономического роста» как центров модернизации и индустриального развития;
- использование инструментов: инновационные кластеры (для привлечения дополнительных инвестиций в регион); государственно-частное партнерство (для формирования точек экономического роста и инфраструктуры); налоговые механизмы, стимулирующие реализацию капиталоемких проектов; сетевое взаимодействие государства, бизнеса, общества и науки при реализации инновационных проектов.

Список источников

1. Концепция внедрения интеллектуальных цифровых технологий в Ульяновской области «Умный регион» на 2017–2030 годы. Официальный сайт Фонда развития информационных технологий Ульяновской области. URL: <https://it-fund73.ru/> www.ulsmartregion.ru/ / Konzept.php (дата обращения: 28 сентября 2020).
2. Стратегия социально-экономического развития Красноярского края до 2030 года. Официальный портал Красноярского края URL: <http://www.krskstate.ru/2030/plan> (дата обращения: 28 сентября 2020).
3. «Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года». Официальный портал Министерства экономического развития Российской Федерации. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/strategicheskoe_planirovanie_prostranstvennogo_razvitiya/strategiya_prostranstvennogo_razvitiya_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2025_goda/ (дата обращения: 28 сентября 2020).
4. Дмитриев О. 2020. В Самарской области бизнес научат работать с инновациями. Российская газета. URL: <https://www.rg.ru/2020/09/15/reg-pfo/v-samarskoj-oblasti-biznes-nauchat-rabotat-s-innovaciami.html> (дата обращения: 28 сентября 2020).

Список литературы

1. Бош А., Вонортас Н. 2019. «Умная специализация» как стимул инновационной экономики в развивающихся странах. Уроки Бразилии. Форсайт, 1: 32–47.
2. Дырдонова А.Н. 2019. Устойчивое развитие инновационных промышленных кластеров в рамках концепции умной специализации. В кн.: Высокие технологии и инновации в науке.

Материалы международной научной конференции (Санкт-Петербург, 27 сентября 2019 г.). Санкт-Петербург, Изд-во СПбГУ: 197–201.

3. Иншаков О.В., Иншакова Е. И. 2017. Кластерное развитие Российской nanoиндустрии как стратегический компонент «умной специализации» регионов. Региональная экономика. Юг России, 4: 4–10.

4. Караяннис Э., Григорудис Э. 2016. Четырехзвенная спираль инноваций и «умная специализация»: производство знаний и национальная конкурентоспособность. Форсайт, 1 :31–42.

5. Кузьмина Е.В., Шевченко С.А., Кузьмина М.И., Минаева О.А. 2020. Устойчивое развитие регионов на основе формирования инновационных кластеров. Экономика и предпринимательство, 4: 300–303.

6. Кумакова С. В. 2019. Инновационные кластеры как механизм проектной реализации стратегии развития региона в рамках умной специализации. В кн.: Модернизация России: приоритеты. проблемы, решения. Материалы международной практической конференции (Москва, 20–21 декабря 2018 г.). Москва, Изд-во Институт научной информации по общественным наукам РАН: 825–830.

7. Морозова И.А., Шевченко С.А., Кузьмина Е.В. 2020. Исследование основных факторов устойчивости пространственного развития территорий с позиции системного подхода. Экономика устойчивого развития, 3: 76–83.

8. Нурланова Н.К. 2018. Технологическая модернизация экономики Регионов Казахстана на основе SMART специализации: сценарии и механизмы реализации. В кн.: Проблемы стратегического проектирования социально-экономического развития России. Материалы конференции по проблемам стратегического проектирования социально-экономического развития России (Москва, 01 января – 01 мая 2018). Москва, Изд-во Институт научной информации по общественным наукам РАН: 1024–1028.

9. Самостроенко Г.М. 2019. Стратегии «умной специализации» регионального развития. В кн.: Регионы России: стратегии, механизмы модернизации, инновационного и технологического развития. Материалы международной научно-практической конференции (Москва, 06-07 июня 2019 г.). Москва, Изд-во Институт научной информации по общественным наукам РАН: 933–935.

10. Татенко Г. И. 2019. Концептуальные положения по управлению развитием территории. Управленческий учет, 9: 97–106.

11. Хмелева Г.А., Королева Е.Н., Курникова М.В. 2019. Стратегия "умной специализации": европейский опыт и уроки для России. Вестник Самарского муниципального института управления, 3: 35–45.

12. Шавга Л.А., Баран Т.В. 2020. Внедрение концепции умной специализации катализатор экономического развития республики Молдова. Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права, 3 :50–53

13. Шевченко С.А., Морозова И.А., Кузьмина Е.В., Кузьмина М.И., Минаева О.А. 2020. Управление устойчивым развитием экономики региона. Экономика и предпринимательство, 3: 300–304.

14. Reid A., Stanovnik P. 2013. The Development of a Smart Specialisation Strategy for Slovenia: Report to the European Commission. Brussels: EC, Directorate General Research and Innovation.

15. Rainoldi A. 2018. 4 years of smart specialisation: lessons learned and plans for the future // www. Smart specialisation: progress and future prospects. Vilnius, 22 October 2018. URL: <https://www.mosta.lt/lt/renginiai/470-smart-specialisation-progress-and-future-prospects>.

16. Ranga M. 2018. Smart specialization as a strategy to develop early-stage regional innovation systems. European Planning Studies, 26 (11): 2125–2146.

References

1. Bosh A., Vonortas N. 2019. «Umnaya spetsializatsiya» kak stimul innovatsionnoy ekonomiki v razvivayushchikhsya stranakh ["Smart specialization" as an incentive for innovative economy in developing countries]. Uroki Brazillii. Forsayt, 1: 32–47.

2. Dyrdonova A.N. 2019. Ustoychivoe razvitie innovatsionnykh promyshlennykh klasterov v ramkakh kontseptsii umnoy spetsializatsii [Sustainable development of innovative industrial clusters within the framework of the smart specialization concept]. V kn.: Vysokie tekhnologii i innovatsii v nauke [In: High Technologies and Innovations in Science]. Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (Sankt-Peterburg, 27 sentyabrya 2019 g.). Sankt-Peterburg, Izd-vo SPbGU: 197–201. (in Russian)

3. Inshakov O.V., Inshakova E. I. 2017. Klasternoe razvitie Rossiyskoy nanoindustrii kak strategicheskiiy komponent «umnoy spetsializatsii» regionov [Cluster development of the Russian

nanoindustry as a strategic component of the "smart specialization" of the regions]. *Regional'naya ekonomika. Yug Rossii*, 4: 4–10. (in Russian)

4. Karayannis E., Grigorudis E. 2016. Chetyrekhzvennaya spiral' innovatsiy i «umnaya spetsializatsiya»: proizvodstvo znaniy i natsional'naya konkurentosposobnost' [The four-step spiral of innovation and "smart specialization": knowledge production and national competitiveness]. *Forsayt*, 1 : 31–42. (in Russian)

5. Kuz'mina E.V., Shevchenko S.A., Kuz'mina M.I., Minaeva O.A. 2020. Ustoychivoe razvitie regionov na osnove formirovaniya innovatsionnykh klasterov [Sustainable development of regions based on the formation of innovation clusters]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*, 4: 300–303. (in Russian)

6. Kumakova S. V. 2019. Innovatsionnye klastery kak mekhanizm proektnoy realizatsii strategii razvitiya regiona v ramkakh umnoy spetsializatsii [Innovation clusters as a mechanism for project implementation of the regional development strategy within the framework of smart specialization]. V kn.: *Modernizatsiya Rossii: priority. problemy, resheniya* [In: Modernization of Russia: Priorities. problems, solutions]. *Materialy mezhdunarodnoy prakticheskoy konferentsii (Moskva, 20-21 dekabrya 2018 g.)*. Moskva, Izd-vo Institut nauchnoy informatsii po obshchestvennym naukam RAN: 825–830. (in Russian)

7. Morozova I.A., Shevchenko S.A., Kuz'mina E.V. 2020. Issledovanie osnovnykh faktorov ustoychivosti prostranstvennogo razvitiya territoriy s pozitsii sistemnogo podkhoda [The study of the main factors of the stability of the spatial development of territories from the point of view of the system approach]. *Ekonomika ustoychivogo razvitiya*, 3: 76–83. (in Russian)

8. Nurlanova N.K. 2018. Tekhnologicheskaya modernizatsiya ekonomiki Regionov Kazakhstana na osnove SMART spetsializatsii: stsenarii i mekhanizmy realizatsii [Technological modernization of the economy of the Regions of Kazakhstan based on SMART specialization: scenarios and implementation mechanisms]. V kn.: *Problemy strategicheskogo proektirovaniya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossii. Materialy konferentsii po problemam strategicheskogo proektirovaniya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossii* [In: Problems of strategic design of socio-economic development of Russia] (Moskva, 01 yanvarya – 01 maya 2018). Moskva, Izd-vo Institut nauchnoy informatsii po obshchestvennym naukam RAN:1024–1028. (in Russian)

9. Samostroenko G.M. 2019. Strategii «umnoy spetsializatsii» regional'nogo razvitiya [Strategies for "smart specialization" of regional development]. V kn.: *Regiony Rossii: strategii, mekhanizmy modernizatsii, innovatsionnogo i tekhnologicheskogo razvitiya* [In: Regions of Russia: strategies, mechanisms of modernization, innovation and technological development]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Moskva, 06–07 iyunya 2019 g.)*. Moskva, Izd-vo Institut nauchnoy informatsii po obshchestvennym naukam RAN: 933–935. (in Russian)

10. Tatenko G. I. 2019. Kontseptual'nye polozheniya po upravleniyu razvitiem territorii. Upravlencheskiy uchet [Conceptual provisions for managing the development of the territory. Management accounting], 9: 97–106. (in Russian)

11. Khmeleva G.A., Koroleva E.N., Kurnikova M.V. 2019. Strategiya "umnoy spetsializatsii": evropeyskiy opyt i uroki dlya Rossii [Smart Specialization Strategy: European experience and lessons for Russia]. *Vestnik Samarskogo munitsipal'nogo istituta upravleniya*, 3: 35–45. (in Russian)

12. Shavga L.A., Baran T.V. 2020. Vnedrenie kontseptsii umnoy spetsializatsii katalizator ekonomicheskogo razvitiya respubliki Moldova [The introduction of the concept of smart specialization is a catalyst for the economic development of the Republic of Moldova]. *Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperatsii, ekonomiki i prava*, 3 :50–53. (in Russian)

13. Shevchenko S.A., Morozova I.A., Kuz'mina E.V., Kuz'mina M.I., Minaeva O.A. 2020. Upravlenie ustoychivym razvitiem ekonomiki regiona [Managing the sustainable development of the region's economy]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*, 3: 300–304. (in Russian)

14. Reid A., Stanovnik P. 2013. The Development of a Smart Specialization Strategy for Slovenia: Report to the European Commission. Brussels: EC, Directorate General Research and Innovation.

15. Rainoldi A. 2018. 4 years of smart specialization: lessons learned and plans for the future // Smart specialization: progress and future prospects. Vilnius, 22 October 2018. URL: <https://mosta.lt/lt/renginiai/470-smart-specialisationprogress-and-future-prospects>.

16. Ranga M. 2018. Smart specialization as a strategy to develop early-stage regional innovation systems. *European Planning Studies*, 26 (11): 2125–2146.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

Шевченко Светлана Алексеевна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры экономики и предпринимательства Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия

Svetlana A. Shevchenko, Candidate Pedagogical Sciences, Assistant Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Entrepreneurship Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Кузьмина Екатерина Валериевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и предпринимательства Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия

Ekaterina V. Kuzmina, Candidate Economic Sciences, Assistant Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Entrepreneurship Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

Кузьмина Мария Игоревна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и предпринимательства Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия

Maria I. Kuzmina, Candidate Economic Sciences, Assistant Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Entrepreneurship Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

УДК 334.02

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-59-71

Взаимосвязь макроэкономических процессов и внутренней среды промышленного предприятия (с точки зрения концепции А.А. Богданова)

Анохов И.В.

Байкальский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11
E-mail: i.v.anokhov@yandex.ru

Аннотация. Целью статьи является исследование влияния макроэкономических процессов на внутреннюю среду предприятия. Объектом исследования является промышленное предприятие. В качестве методологической основы исследования использована концепция всеобщей организационной науки А.А. Богданова. В статье констатируется, что деятельность предприятия может быть представлена как совокупность функциональных видов деятельности, осуществляемых параллельно: физической, распределительной, экономической, технологической и проектной. Сформулированы целевые функции указанных функциональных уровней, а также представлена схема их потокового взаимодействия с макроэкономической средой. Рассмотрена эволюция промышленного предприятия от физической деятельности до проектной, а также обратный процесс воздействия макроэкономических процессов на отдельные функциональные уровни предприятия. Сделанные предположения проиллюстрированы на истории развития металлургической отрасли Урала, что позволило продемонстрировать, как внутренняя среда промышленного предприятия усложняется и структурируется в благоприятной макроэкономической ситуации.

Ключевые слова: макроэкономика, микроэкономика, предприятие, поток создания ценности, целевая функция, производство, промышленность, фаза, металлургия, Урал.

Для цитирования: Анохов И.В. 2021. Взаимосвязь макроэкономических процессов и внутренней среды промышленного предприятия (с точки зрения концепции А.А. Богданова). Экономика. Информатика, 48 (1): 59–71. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-59-71.

The relationship between macroeconomic processes and the internal environment of an industrial enterprise (from the point of view of the concept of A.A. Bogdanov)

Igor V. Anokhov

Baikal State University,
11 Lenin St., Irkutsk, 664003
E-mail: i.v.anokhov@yandex.ru

Abstract. The purpose of the article is to study the impact of macroeconomic processes on the internal environment of the enterprise. The object of the study is an industrial enterprise. The methodological basis of the research is the concept of general organizational science of A. A. Bogdanov. The article states that the activity of an enterprise can be represented as a set of functional activities carried out in parallel: physical, distribution, economic, technological and design. The objective functions of these functional levels are formulated, and the scheme of their flow interaction with the macroeconomic environment is presented. The evolution of an industrial enterprise from physical activity to project activity is considered, as well as the

reverse process of the impact of macroeconomic processes on individual functional levels of the enterprise. The assumptions made are illustrated by the history of the development of the metallurgical industry in the Urals, which allowed us to demonstrate how the internal environment of an industrial enterprise is complicated and structured in a favorable macroeconomic situation.

Keywords: macroeconomics, microeconomics, enterprise, value stream, target function, production, industry, phase, metallurgy, Ural.

For citation: Anokhov I.V. 2021. The relationship between macroeconomic processes and the internal environment of an industrial enterprise (from the point of view of the concept of A.A. Bogdanov). Economics. Information technologies, 48 (1): 59–71 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-59-71.

Введение

В публикациях по микроэкономике как правило неявно подразумевается, что всякое промышленное предприятие плотно включено в макроэкономические процессы. В то же время, механизм такой взаимосвязи до сих пор остается не вполне ясным.

С другой стороны, из макроэкономических исследований можно заключить, что каждое отдельное предприятие взаимодействует с внешней средой как единое целое. Внутренняя среда этого предприятия остается «вещью в себе», функционирующей по каким-то обособленным принципам, имеющим слабое отношение к макроэкономическим процессам.

На наш взгляд, следует принять во внимание, что любое предприятие представляет собой результат макроэкономического и глобального разделения труда, а это значит, что все её внутренние процессы являются прямым следствием мировых и региональных процессов. Для исследования этих процессов целесообразно обратиться к концепции всеобщей организационной науки А.А. Богданова.

Макро- и микроэкономические процессы с точки зрения концепции А.А. Богданова

А.А. Богданов полагал, что «по существу своему все экономические процессы суть именно процессы приспособления людей и коллективов к их среде – природной и социальной» [Богданов, 1989, с. 95]. При этом с точки зрения концепции всеобщей организационной науки всякий процесс порождается противоречиями или разностями: «Наш мир есть вообще *мир разностей*; только разности напряжений энергии проявляются в действии, только эти разности имеют практическое значение. Там, где сталкиваются активности и сопротивления, практическая сумма, воплощенная в реальных результатах, зависит от способа сочетания тех и других; и для целого эта сумма увеличивается на той стороне, на которой соединение более стройно или "гармонично", включает меньше "противоречий". Это и означает более высокую организованность» [Богданов, 1989, с. 117].

Такая высокая организованность воплощается в форме организованного комплекса, который представляет собой «целое больше суммы своих частей» [Богданов, 1989, с. 113]. Промышленное предприятие также может быть представлено как организованный комплекс, нацеленный на то, чтобы сочетать активности своих подразделений «более успешно, чем противостоящие им сопротивления» [Богданов, 1989, с. 117]. При этом под противостоящими сопротивлениями понимается «та же активность, но взятая с иной точки зрения – как противопоставленная другой активности» [Богданов, 1989, с. 119].

По мнению А.А. Богданова, «высокоорганизованным признается такой организм или коллектив, который способен преодолевать многочисленные и разнообразные активности-сопротивления своей нормальной среды» [Богданов, 1989, с. 126]. С этой точки зрения иерархическая структура предприятия призвана сознательно погашать одни виды активности и стимулировать другие. Если же внутренние подразделения предприятия оказываются предоставленными самим себе, то их активности имеют тенденцию превращаться в сопротивления.

Из этого можно заключить, что чем более организованным является производственный коллектив, тем значительнее он способен изменять окружающий социально-экономический ландшафт для устранения сопротивлений внешней среды (т. е. противоположно направленную активность). Следствием этого процесса является изменение аналитической суммы – это «результат соединения специфических активностей или соответственных сопротивлений при всякой конъюгации» [Богданов, 1989, с. 147].

Из рассуждений А.А. Богданова можно прийти к выводу о том, что преодоление сопротивлений создает условия для беспрепятственного перемещения энергии, вещества, информации и др. Другими словами, сокращение внешних и внутренних сопротивлений неизбежно порождает *устойчивые потоки всех видов ресурсов*, которые движутся по направлению от менее организованных комплексов к высоко организованным комплексам. Кроме того, учитывая, что «все связано, все влияет, все действует одно на другое» [Богданов, 1989, с. 121], все организованные комплексы взаимодействуют друг с другом либо напрямую, либо опосредованно. Главным способом такого взаимодействия и являются потоки информации, вещества, энергии и др.

Например, взаимодействие организованных комплексов часто принимает форму взаимодействия двух полюсов с максимальной разностью потенциалов: поставщика готовых продуктов (например, промышленного предприятия или отрасли индустрии) и потребителя этого продукта (например, города). Такого рода взаимодействие наблюдалось, например, между двумя полюсами Евразии, связанными Великим шелковым путем, по которому столетиями двигались потоки товаров, информации, энергии и др. Причиной такого рода потоков является *разность напряжений* между высокоорганизованным комплексом и неорганизованной внешней средой. Уровень же этого напряжения есть «относительная величина изменений, возможных в зависимости от данного комплекса энергии» [Богданов, 1989, с. 177].

В результате потоки информации, вещества и энергии приобретают макроэкономический характер, захватывающий и подчиняющий себе активности всех микроэкономических субъектов, находящихся в зоне их влияния. Более того, на наш взгляд, макроэкономические потоки непосредственно формируют и внутренние структуры этих субъектов. Рассмотрим это более подробно.

Эволюция организованного комплекса

Рассмотрим пример взаимодействия двух работников, который приводит А.А. Богданов: «если дело идет, положим, о расчистке поля от камней, кустарников и корней и если один человек расчищает в день 1 десятину, то два вместе выполняют за день не двойную работу, а больше: $2\frac{1}{4} - 2\frac{1}{2}$ десятины» [Богданов, 1989, с. 114]. Далее он отмечает, что «соединение двух сил позволяет преодолевать препятствия, каждую из них в отдельности превышающие, а многие препятствия, ее не превышающие, но для нее значительные, осилить гораздо быстрее» [Богданов, 1989, с. 115].

В данном примере, на наш взгляд, необходимо обратить внимание на два момента:

1. Объединение труда двух работников привело к появлению организованного комплекса, который уже можно назвать производственным предприятием, т. к. уровень организованности этого единого целого существенно выше, чем у двух обособленных работников: оно способно преодолевать внешние сопротивления более чем в два раза эффективнее. Это касается и физических, и психологических сопротивлений, которые легче преодолеваются, например, за счет подражания в труде.

2. Разделение труда позволяет снизить предельные затраты труда каждого работника путем уменьшения средней напряженности труда. Это и приводит к увеличению производительности труда и выравниванию по горизонтали кривых предельных и общих затрат труда.

В данном примере речь идет о *физическом* уровне производства. Однако, если при совместном труде двух и более человек «наличные активности соединяются более успешно, чем противостоящие им сопротивления» [Богданов, 1989, с. 117], то это неизбежно приведет и к другим важным последствиям.

Гармоничное соединение активностей работников предполагает синхронизацию как их трудовых движений, так и фаз активности. В этом случае из двух разрозненных единиц и возникает «единое целое, которое больше суммы его частей». Это единое целое способно «дотягиваться» до все более отдаленных и труднодоступных ресурсов. Следствием этого будет являться возрастающий поток ресурсов, который потребует от двух исходных работников осуществления нового специфического вида деятельности – непрерывного присвоения ресурсов внешней среды, предварительной подготовки их к производству, а также доставки готового продукта к месту потребления. Данный вид функциональной деятельности можно обозначить как *распределительный*. Он ориентирован сугубо на ресурсы внешней среды и значительно увеличивает продолжительность процесса производства.

Если на физическом уровне «человек только соединяет и разделяет какие-нибудь наличные элементы», а «процесс труда сводится к соединению разных "материалов", "орудий" труда и "рабочей силы" и к отделению разных частей этих комплексов» [Богданов, 1989, с. 142], то распределительный уровень как раз и обеспечивает возможность такого соединения. В современном предприятии к подразделениям распределительного уровня можно отнести отдел снабжения, склады, учебные центры, транспортно-логистические подразделения и др.

Внутреннее усложнение предприятия на этом не заканчивается. Удлинение и усложнение цикла производства может привести к тому, что отдельные этапы производства будут выполняться в разное время и на территориально отдаленных участках. Вследствие этого увеличиваются риски всех участников производства, т. к. они теперь не могут взаимодействовать напрямую, что, в свою очередь, усиливает возможность оппортунизма¹. Инструментом, облегчающим снижение таких рисков и выстраивание максимально длинных цепочек с глубоким разделением труда, являются денежные средства. Оперирование деньгами качественно отличается от физической деятельности (деятельности по соединению энергии и вещества) или распределительной деятельности (деятельности по доставке энергии и вещества к производственному участку, а также вывозу готового продукта), что требует иной специализации. Тем самым появляется третий функциональный уровень – *экономической*. В современном предприятии к подразделениям экономического уровня можно отнести бухгалтерию, отдел договоров, плановый отдел, коммерческий отдел и др.

На определенном уровне развития предприятие оказывается способным не просто присваивать и перерабатывать внешние ресурсы, используя полученные извне технологии, но и самостоятельно их создавать. В этот момент у него появляется еще один, четвертый, функциональный уровень — *технологический*, который ориентирован на создание новых способов комбинирования ресурсов. В современном предприятии к подразделениям технологического уровня можно отнести НИОКР, маркетинговую службу, управление стратегического планирования и др.

На наш взгляд, окончательное созревание предприятия и его оформление в высокоорганизованный комплекс (в понимании А.А. Богданова) происходит в тот момент, когда оно не только вырабатывает новые технологии, но и сознательно меняет среду своего функционирования. В этот момент у него появляется пятый функциональный уровень – *проектный*, который позволяет ему разрабатывать планы по встраиванию в народнохозяйственную систему. В современном предприятии к подразделениям проектного уровня можно отнести совет директоров, совет акционеров, правление, аппарат генерального директора.

Следует отметить, что представленный выше процесс усложнения внутреннего строения производственного коллектива происходит только при условии, что внешняя среда является благоприятной, т. е. в изобилии снабжающей предприятие ресурсами (вещественными, энергетическими, денежными и др.). Это означает, что уровень внутренней организованности предприятия является производным от организованности окружающей среды. В этой связи

¹ Не случайно Маршалл считал, что современная фирма и акционерная компания с наемными работниками стали возможны лишь после улучшения хозяйственной и трудовой морали (“commercial morality”) [Marshall, 1890, p. 252].

расширение и внутреннее усложнение предприятия возможно только при благоприятных внешних условиях, т. е. в фазе макроэкономического роста.

Более того, внутреннее усложнение предприятия в этой ситуации является главным средством его сохранения: «для сохранения в изменяющейся, т. е. в конечном счете во всякой, среде недостаточно простого обменного равновесия. Единственное, что может давать относительную гарантию сохранения, – это возрастание суммы активностей, перевес ассимиляции: тогда новые неблагоприятные воздействия встречают не прежнее, а увеличенное сопротивление» [Богданов, 1989, с. 201]. Таким образом, «динамическим элементом сохранения комплекса является возрастание его активностей за счет среды» [Богданов, 1989, с. 201].

Исходя из вышесказанного, промышленное предприятие расширяется и усложняется через внутренние функциональные уровни, если внешняя среда изобильно предоставляет ей ресурсы. Это в свою очередь означает, что внутреннее усложнение предприятия происходит в повышающей фазе макроэкономического цикла.

На наш взгляд, применительно к экономической сфере высокоорганизованным комплексом (в трактовке А.А. Богданова) следует понимать комплекс, включающий все пять функциональных видов деятельности: физическая, распределительная, экономическая, технологическая и проектная.

Взаимосвязь функциональных уровней предприятия и макроэкономических процессов

Выше мы рассмотрели процесс эволюции индивидуальной трудовой деятельности в благоприятной среде. Рассмотрим далее макроэкономическое воздействие на промышленное предприятие, уже оформившееся как полноценный организованный комплекс (т. е. включающее все пять функциональных уровней). При этом наибольший интерес представляет повышающая макроэкономическая фаза, т. к. она приводит к усложнению и активизации предприятий. В этой связи далее будет рассматриваться именно повышающая фаза национальной экономики.

В этой макроэкономической фазе задача предприятия состоит в том, чтобы встроить в нее максимальное количество своих циклов производства, что позволит многократно окупить инвестиции в основной капитал и тем самым максимизировать прибыли.

В повышающей макроэкономической фазе потоки непрерывно усиливаются, вовлекая простаивающие капиталы и направляя их через капиллярные каналы отдельных предприятий. В этой ситуации у существующего на рынке предприятия ключевую роль играет проектный уровень, который одновременно является и социосистемным (т. е. полностью погруженным в макроэкономические потоки и общественные процессы), и производственным (т. е. порождающим процесс промышленного производства). Его первоочередной задачей является работа с информацией: получение, обработка и доведение до всех уровней в минимально достаточном объеме. Принятие решений на каждом функциональном уровне зависит от скорости обработки информации, и если информации будет слишком много, то эти уровни не смогут оперативно действовать.

Проектный уровень, зафиксировав рыночные сигналы и преобразовав их в информацию, решает вопрос привлечения инвестиций на предприятие и формулирует стратегию развития предприятия, которая передается подразделениям технологического уровня для исполнения. Горизонт планирования проектного уровня должен измеряться десятилетиями или технологическими укладами.

В свою очередь подразделения технологического уровня на основании стратегии готовят планы производства и сбыта с учетом инвестиционных ресурсов для его реализации и требований к основным средствам: стоимость, мощность, срок окупаемости и др. После этого подразделения технологического уровня входят во взаимодействие с макроэкономическими субъектами с целью приобретения основных средств. Тем самым определяется горизонт планирования технологического уровня, равный циклу оборота *основных средств*. Именно в этих категориях и мыслят подразделения технологического уровня.

Планы производства и сбыта доводятся до экономического уровня, подразделения которого должны сопрягать основной капитал с оборотным капиталом с помощью денежных средств путем покупки на рынке сырья, материалов, энергии, труда и др. В результате горизонт планирования на экономическом уровне равен периоду обращения *оборотных средств* (прежде всего денежных).

Подразделения распределительного уровня получают в свое распоряжение материальные, трудовые и энергетические ресурсы, а также планы по их продуктивному использованию. Эти подразделения предварительно подготавливают и поставляют ресурсы к производственным участкам. Свою деятельность они планируют на период времени, равный *циклу обращения запасов*.

В свою очередь подразделения физического уровня, получив от распределительного уровня все необходимые ресурсы, планируют свою деятельность на период времени, равный *такту физического производства*, под которым в данном случае понимается интервал времени, необходимый для выпуска очередной партии продукта путем соединения вещества, информации и энергии.

Исходя из вышесказанного, мы можем представить следующую схему зависимости между внешней макроэкономической средой и промышленным предприятием (рис. 1).

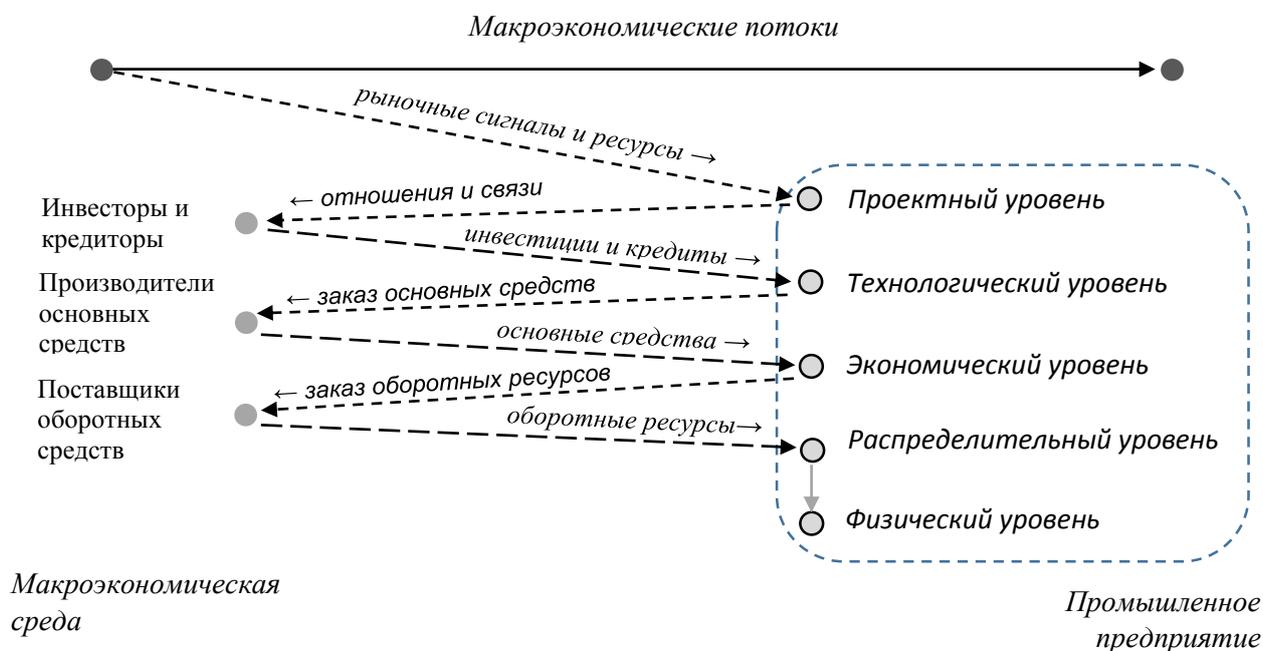


Рис. 1. Взаимодействие между внешней макроэкономической средой и функциональными уровнями промышленного предприятия

Fig. 1. Interaction between the external macroeconomic environment and the functional levels of the production firm

Из рисунка следует, что между разными функциональными уровнями происходит как прямое взаимодействие (оно носит информационный характер, за исключением физического уровня, получающего все ресурсы от распределительного уровня), так и взаимодействие, опосредованное внешней средой (макроэкономическими субъектами). Теоретически такого рода взаимодействие отдельных функциональных уровней с внешнерыночными субъектами может быть ликвидировано, но это означало бы поиск или создание всех видов ресурсов только силами самого предприятия, что многократно увеличило бы продолжительность производства. Пользуясь же внешними ресурсами, предприятие фактически экономит время.

Представленные на рисунке 1 внутрифирменные процессы в современных публикациях могут обозначаться как *поток создания ценности*, «включающий в себя все виды дея-

тельности, то есть добавляющие ценность, не добавляющие ценности и вспомогательные виды деятельности, которые необходимы для создания продукта (или оказания услуги) и предоставления его клиенту» [Edtmaur, 2016, p. 290]. Исследование таких потоков основано на картировании, которое отражает «понимание рабочих систем, обеспечивающих ценность для клиентов и отражают рабочий процесс с точки зрения клиента» [Romero, 2017, p. 1075]. К недостаткам такого метода картирования следует отнести исследование только физического, распределительного и иногда экономического уровня [Lacerda, 2016]. Неисследованными остаются технологический и проектный уровни. Использование современных цифровых систем также не учитывает эти аспекты создания ценности [Trebuna, 2019].

Рассмотрим целевые функции функциональных уровней промышленного предприятия:

1) Проектный уровень: поиск рыночной ниши и её освоение.

Если фаза макроэкономического оживления охватывает период времени T , за который рынок готов потребить данный продукт в количестве Q , то предприятие таким образом планирует свой объем производства q , чтобы:

- захватить весь рынок продукта Q :

$$\frac{q}{Q} \rightarrow 1 \text{ или } \Sigma q \rightarrow Q;$$

- максимизировать оборачиваемость инвестиций в производство (I , рублей), продавая каждую единицу товара по цене p :

$$\frac{q \cdot p}{I} \rightarrow \max;$$

2) Технологический уровень: выбор, освоение и совершенствование технологии производства и сбыта.

Ориентируясь на циклы макроэкономического потока, предприятие организует производство таким образом, чтобы основной капитал как минимум компенсировал затраты на его покупку и принес добавочную стоимость в том же размере (т. е. совершил два и более кругооборота: $[2; \infty]$), перенеся свою стоимость на стоимость готового продукта. Если обозначить через t время, за которое основной капитал будет полностью амортизирован, то в период времени T целевая функция может быть выражена следующим образом:

$$2 < \frac{T}{t},$$

$$\frac{T}{t} \rightarrow \infty.$$

На технологическом уровне также определяется масштаб производства: малый, средний и крупный. Как правило дешевое оборудование для малого объема производства рассчитано на небольшой период эксплуатации и незначительный выпуск продукта (единичный или мелкосерийный). Одновременно с этим себестоимость единицы продукта, произведенного с его помощью, будет выше, чем при среднем и крупном объемах производства. Соответственно на технологическом уровне предприятие стремится выбрать такое оборудование, которое при планируемом объеме производства q будет обеспечивать минимум средних общих издержек (average total costs — ATC).

Исходя из этого, предприятию следует выбрать такое оборудование (соответствующее малому, среднему или крупному масштабу производства и приобретаемое за счет инвестиций I), которое при планируемом объеме производства q позволит добиться $\min ATC$. Если обозначить себестоимость единицы продукта как c_0 , то целевая функция технологического уровня может быть выражена формулами:

$$q \cdot c_0 \rightarrow \min ATC.$$

Часть себестоимости единицы продукта c_0 будет приходиться на амортизационные отчисления (A), сумма которых будет соответствовать инвестициям в основной капитал (I):

$$\sum(A * q) = I.$$

Данная формула применима в период времени t , за который основной капитал должен быть полностью амортизирован ($I \in t$).

3) Экономический уровень: использование денежных инструментов для прибыльного и рентабельного производства.

На экономическом уровне необходимо добиться такой рентабельности производства (R , в процентах), которая будет существенно превышать проценты по инвестициям в производство и кредитам (i , в процентах):

$$R \gg i.$$

Для этого предприятие может опираться на следующую закономерность: в повышающей макроэкономической фазе рентабельность производства (R) существенно превышает ставку процента по внешним ресурсам (i), т. е. $R \gg i$, а при завершении повышающей фазы – наоборот, т. е. $R \ll i$ (рис. 2).

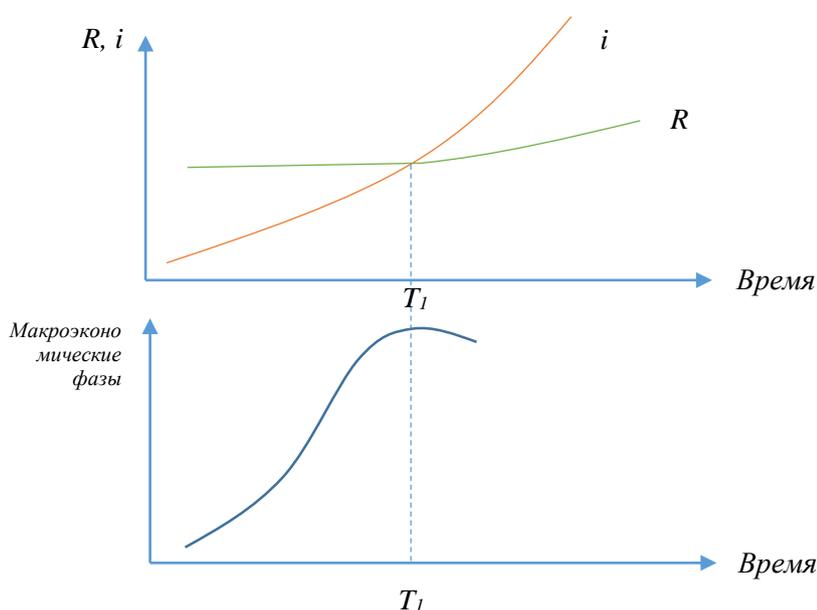


Рис. 2. Влияние макроэкономических фаз на соотношение рентабельности производства и процентов по инвестициям

Fig. 2. Influence of macroeconomic phases on the ratio of profitability of production and interest on investment

Стремясь повысить рентабельность производства R , подразделения экономического уровня нацелены на максимизацию цены своего продукта и/или снижение его себестоимости:

$$\begin{aligned} ATC &\rightarrow \min, \\ p &\rightarrow \max. \end{aligned}$$

4) Распределительный уровень: своевременное обеспечение процесса производства материальными, трудовыми и энергетическими ресурсами.

Распределительный уровень ориентирован на следующие целевые функции:

- минимизация запасов сырья и материалов (в натуральном выражении):

$$\text{Запасы} \rightarrow \min;$$

- максимизация производительности труда:

$$\frac{\sum q}{\text{Labor}} \rightarrow \max,$$

где:

Labor — фактор труда (время труда или количество работников).

5) Физический уровень: непосредственное соединение материальных, трудовых и энергетических ресурсов для получения готового продукта.

Целевая функция физического уровня может быть выражена формулами:

$$\begin{aligned} \text{Labor} &\rightarrow \min, \\ \text{Сырье} &\rightarrow \min, \\ \text{Энергия} &\rightarrow \min. \end{aligned}$$

Функциональное усложнение металлургии

Рассмотренные выше предположения целесообразно рассмотреть на примере истории производства в одной из базовых отраслей, например, металлургической, роль которой огромна в жизни любого общества. Выгоды металлургии требуют знаний о минералах, конструирование агрегатов для извлечения из них металлов и «наличие навыков и умений механической и термической обработки вновь получаемых металлов» [Черноусов и др., 2005, с. 27]. В результате человечество получило «большой контроль над окружающей средой, что привело к увеличению численности населения и увеличению числа поселений» [Forrester, 2016, p. 5].

На заре технологического развития человечества добывание руды для извлечения металла «производилось вполне примитивно – продольными рвами или котлообразными углублениями» [Кашинцев, 1939, с. 15]. При этом «плавильные мастерские возникали обычно в непосредственной близости от мест добычи» [Кашинцев, 1939, с. 16]. Такого рода работы вполне могли производиться одним человеком в перерывах между другими видами производственной деятельности. В то же время благодаря археологическим раскопкам «найжены были рудники, где применялись и подземные выработки, причем не только штольнями вглубь горы, но и шахтами» [Кашинцев, 1939, с. 15]. Это означает, что добыча производилась уже коллективами работников, численностью от двух и более человек. Объединение их труда позволило добираться уже до трудноизвлекаемых залежей, использовать «крепь..., закрепляя ... горизонтальные выработки» [Кашинцев, 1939, с. 15].

Таким образом оформился специализированный вид труда (как минимум сезонный) по добыче руд – *физический* уровень производства металла.

Этот уровень металлургического производства отличала «элементарность железодельной процедуры и ничтожная производительность» [Кашинцев, 1939, с. 23], технология же требовала «длительных сезонных работ по заготовке дров, углежжению, копанию руды и подготовке ее к загрузке в печь» [Кашинцев, 1939, с. 23]. Тем самым обнаруживается еще один функциональный уровень производства металла, возникший на определенном этапе его развития, – *распределительный*. К этому же функциональному уровню следует отнести появление линейных руководителей, занимавшихся обслуживанием основного физического производства. Например, на определенном этапе усложнения металлургического производства появилась должность мастера, который осуществлял «непрерывный контроль за работой на колошнике засыпщиков» [Кашинцев, 1939, с. 88].

Такого рода разделение труда приводило к росту производительности и получению такого объема готового металла, который можно уже было на регулярной основе поставлять на рынок: «кустари-плавильщики продавали свой полуфабрикат – необделанные куски железных криц – нескольким скупщикам-крестьянам» [Кашинцев, 1939, с. 24]. Появление такого рода «профессиональных скупщиков готовой продукции» [Кашинцев, 1939, с. 24] свидетельствует о дальнейшем внутреннем усложнении металлургического производства и о появлении в нем третьего функционального уровня – *экономического*.

История металлургии на Урале демонстрирует и свидетельства функционирования устойчивых макроэкономических потоков: «Через Архангельск шел единственный бесконтрольный путь в Европу» [Кашинцев, 1939, с. 24], на основе которого удалось создать «си-

стему колониальной экспансии через дальние районы и вовлечение в этот поток местных поселенцев». Таким образом взаимосвязь металлургического производства и внешней среды приобрела характер потока, возрастающего благодаря повышательной макроэкономической фазе и позволяющего усложнять внутреннее строение металлургических предприятий.

Вследствие этого, технологии металлургического производства сначала копировались, а затем совершенствовались и, наконец, самостоятельно разрабатывались. Это означает появление *технологического* уровня. Создавались передовые казенные заводы: «в 1630-х годах начали действие два крупных по тогдашним масштабам предприятия: первые горные заводы Урала — ... Ницынский (железный) и ... Пыскорский (медный)» [Кашинцев, 1939, с. 27]. Это повлекло за собой качественные преобразования в технологиях, благодаря которым в частности впервые за Уралом «делались чугунные отливки» [Кашинцев, 1939, с. 28]. Это в свою очередь означало, что «на едва колонизированной окраине» возникло «передовое по технике предприятие» [Кашинцев, 1939, с. 28]. Инновационность такого нового производства касалась не только выплавки металла и распределительных операций (создание плотин, использование вододействующих колес и др.), но и организационных технологий: появление семейств «новоприборных» крестьян – горняков-земледельцев, занимавшихся физическим производством, а также вольнонаемных рабочих: «редкий случай в позднейшей уральской практике» [Кашинцев, 1939, с. 35].

Проектный уровень металлургического производства на Урале осуществляли органы государства (прежде всего, Берг-коллегия), которые разрабатывали и уточняли программы металлургического развития страны на годы и десятилетия вперед. Такие программы составлялись в интересах государства, а также привилегированных сословий, например, с помощью принудительной скупки готового металла и его последующей перепродажи «с надбавкой 42 %» [Кашинцев, 1939, с. 38], в т. ч. за границу.

Позже функции проектного уровня стали выполняться и самими металлургическими предприятиями. По мнению Кашинцева Д.А., «четко выраженный и наиболее интенсивный этап заводского строительства на Урале длился 11 лет – с 1752 по 1762 г.» [Кашинцев, 1939, с. 113]. В этот период металлургическая отрасль Урала уже стала самостоятельным организованным комплексом, способным автономно взаимодействовать с внутрироссийской и внешнеэкономической средой. Это означает, что в ней присутствовали все пять функциональных уровней.

В этот момент макроэкономическое благоприятствование металлургии, порожденное государством, уступило место влиянию глобальных экономических циклов и укладов. Отечественным металлургам открылся огромный европейский рынок: «главным покупателем русского железа в 1730-х и 1740-х годах была Англия..., поглощавшая три четверти русского экспортного металла» [Кашинцев, 1939, с. 114].

Благоприятствовала этому и отмена в 1737 г. государственной монополии на внешнюю торговлю железом. Центром же внутренней торговли служила старинная Макарьевская ярмарка, расположенная в достаточно выгодном пункте — посредине главного водного пути.

Исходя из вышесказанного следует, что интенсивное государственное участие и благоприятная конъюнктура на мировом рынке создали благоприятную среду для зарождения и развития металлургии на Урале. Долгосрочность этих факторов позволила сформировать высокоорганизованные комплексы в виде металлургических предприятий, имеющих все функциональные уровни, включая технологический и проектный.

История металлургии Урала показывает, что металлургам удалось максимизировать целевые функции всех проектных уровней:

- *проектный уровень*:

Экспорт железа вырос «с 4 340 т за 1742–1745 гг. до 8 345 т за 1746–1750 гг., т. е. почти в два раза» [Кашинцев, 1939, с. 114]. В 1750-й г. за границу было вывезено 20,25 тыс. т., что примерно соответствует годовому производству всех уральских заводов. «Место первой страны в мире по производству черного металла Россия ... получила и удержала до конца XVIII в.» [Кашинцев, 1939, с. 139].

$$\left(\frac{q_d}{Q_c} \rightarrow 1, \Sigma q \rightarrow Q\right).$$

- *технологический уровень:*

В 1754 г. из казны были переданы в частные руки 18 государственных металлургических заводов на льготных условиях. Тем самым для новых владельцев был минимизирован размер инвестиций и одновременно максимизирована прибыль. В ряде случаев это позволило использовать повышенную прибыль для совершенствования технологии производства и сбыта. Параллельно с этим на территории страны (кроме Сибири) были упразднены внутренние таможенные сборы, что резко повысило прибыльность внутривосточных торговых операций:

$$\left(\frac{q_d * p}{I} \rightarrow \max\right).$$

- *экономический уровень:*

О состоянии данного уровня металлургических предприятий можно судить по следующим фактам: «С середины 1780-х годов начинается быстрый и почти непрерывный подъем цен, достигший к 1799 г. в русской валюте более 150 %» [Кашинцев, 1939, с. 214]. «Большую цену им придавало высокое качество» [Запарий, 2015, с. 362]. Подъем горнозаводского строительства был порожден общеевропейской хозяйственно-политической обстановкой и оказался настолько прочным, что несмотря на сильнейший политический кризис и пугачевское движение, промышленность Урала быстро восстановилась, и район вступил в полосу цветения до самого конца столетия. Это может косвенно свидетельствовать о том, что рентабельность металлургического производства с лихвой покрывала проценты по инвестициям ($R > i$). Это в свою очередь объясняется значительным превышением рыночной цены над себестоимостью производства и сбыта: «при рыночной цене в 1 р. 65 к. заводчик получал 1 р. 0,5 к. чистого дохода. Следовательно, прибыль его составляла 156 %. Стоимость сооружения Петрокаменского завода выразилась к 1793 г. в 60 тыс. рублей. К этому времени чистая прибыль заводоуправлением исчислялась в 170 тыс. рублей. Через четыре года после начала работы расходы по постройке были возмещены почти в три раза» [Кашинцев, 1939, с. 215].

- *распределительный уровень:*

О достижении целевых функций на распределительном уровне можно судить только косвенно – по уровню разделения труда: «подавляющее большинство предприятий ... было узко специализированно – изготовлялись один главный и один-два побочных полуфабриката» [Кашинцев, 1939, с. 136]. Такая узкая специализация свидетельствует о наличии развитой системы разделения труда (скорее всего международного масштаба). Протекционистская политика закрывала внутренний рынок Российской Империи для иностранных поставщиков металлических товаров, поэтому отечественные производители могли извлекать максимум выгод из системы разделения труда.

- *физический уровень:*

Об эффективности физического производства можно судить по следующему факту: «По объему производства и экономичности уральские предприятия превосходили не только самые большие английские, но и шведские. Так, если в шведских печах на 100 кг чугуна расходовалось от 300 до 350 кг древесного угля, то в Екатеринбурге его расход по штату составлял 150–170 кг, то есть ниже даже самых рекордных достижений шведской металлургии того времени» [Запарий, 2016, с. 106].

Заключение

В статье констатируется, что деятельность промышленного предприятия качественно неоднородна и может быть разделена на отдельные функциональные слои, примерно также как белый свет может быть разложен на спектр всех цветов. Таких слоев насчитывается пять: физический, распределительный, экономический, технологический и проектный.

Появление в структуре предприятия всех этих уровней возможно только в фазе подъема в хозяйстве страны, если руководство предприятия в состоянии воспользоваться макроэкономическим изобилием ресурсов.

История развития металлургической отрасли Урала показывает, что внутреннее усложнение промышленного производства возможно в благоприятной макроэкономической ситуации.

Список литературы

1. Бакланов Н.Б. 1935. Техника металлургического производства XVIII века на Урале. М., Л., Соцэкгиз, 324.
2. Богданов А.А. 1989. Тектология (Всеобщая организационная наука). М., Экономика, Кн. 1. 304 с.
3. Богданов А.А. 1989. Тектология (Всеобщая организационная наука). М., Экономика, Кн. 2. 309 с.
4. Запарий В.В. 2015. Предыстория создания металлургии на Урале. Историко-экономические исследования, 16 (2): 349–365.
5. Запарий В.В. 2016. Петровская модернизация и металлургия Урала (1700–1725). Историко-экономические исследования, 17 (1): 95–140.
6. История народного хозяйства Урала. 1988. Ч. 1: 1917–1945. Свердловск, Изд-во Урал. унта, 251.
7. Кашинцев Д.А. 1939. История металлургии Урала. Т. I. Первобытная эпоха XVII и XVIII веков. Москва, Ленинград, 293.
8. Струмилин С.Г. 1935. Черная металлургия в России и в СССР. Техн. прогресс за 300 лет. М.; Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 322.
9. Черноусов П.И., Мапельман В.М., Голубев О.В. 2005. Металлургия железа в истории цивилизации. М.: МИСиС, 413.
10. Edtmayr T., Sunk A., Sihn W. 2016. An Approach to integrate Parameters and Indicators of Sustainability Management into Value Stream Mapping: Research and innovation in manufacturing: key enabling technologies for the factories of the future – proceedings of the 48th cirp conference on manufacturing systems. Procedia CIRP, 41: 289–294.
11. Forrester R. History of Metallurgy. 2016. Best Publications Limited, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2864178>.
12. Lacerda A.P., Xambre Ana R., Alvelos H.M. 2016. Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry, International Journal of Production Research, 54:6, 1708–1720, DOI: 10.1080/00207543.2015.1055349.
13. Marshall A. 1890. Principles of Economics. London: Macmillan, 1: 252.
14. Romero L.F., Arce A. 2017. Applying Value Stream Mapping in Manufacturing: A Systematic Literature Review. 20th World Congress of the International-Federation-of-Automatic-Control (IFAC), 50 (1): 1075–1086.
15. Trebuna P., Pekarcikova M., Edl M. 2019. Digital value stream mapping using the tecnomatix plant simulation software. International journal of simulation modelling, 18 (1): 19–32.

References

1. Baklanov N.B. 1935. Technique of metallurgical production of the XVIII century in the Urals. M., L., Sotsekgiz, 324.
2. Bogdanov A.A. 1989. Tektologiya: Vseobshchaya organizatsionnaya nauka [Tectology: General Organizational Science]. Moscow, Ekonomika Publ., Bk. 1. 304 p.
3. Bogdanov A.A. 1989. Tektologiya: Vseobshchaya organizatsionnaya nauka [Tectology: General Organizational Science]. Moscow, Ekonomika Publ., Bk. 2. 309 p.
4. Zapariy V.V. 2015. Prehistory of metallurgy in the Urals. Historical and economic research, 16 (2): 349–365.
5. Zapariy V.V. 2016. Peter's modernization and metallurgy of the Urals (1700–1725). Historical and economic research, 17 (1): 95–140.
6. History of the national economy of the Urals. 1988. Part 1: 1917–1945. Sverdlovsk, Ural publishing House, 251.
7. Kashintsev D.A. 1939. History of metallurgy of the Urals. T. I. Primeval epoch of the XVII and XVIII centuries. Moscow, Leningrad, 293.

8. Strumilin S. G. 1935. Ferrous metallurgy in Russia and the USSR. Techn. progress for 300 years. M.; L.: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 322.
9. Chernousov P. I., Mailman V. M., Golubev, O. V. metallurgy of iron in the history of civilization. M.: MISiS, 2005. 413.
10. Edtmayr T., Sunk A., Sihm W. 2016. An Approach to integrate Parameters and Indicators of Sustainability Management into Value Stream Mapping: Research and innovation in manufacturing: key enabling technologies for the factories of the future - proceedings of the 48th cirp conference on manufacturing systems. Procedia CIRP, 41: 289–294.
11. Forrester R. History of Metallurgy. 2016. Best Publications Limited, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2864178>.
12. Lacerda A.P., Xambre Ana R., Alvelos H.M. 2016. Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry, International Journal of Production Research, 54: 6, 1708–1720, DOI: 10.1080/00207543.2015.1055349.
13. Marshall A. 1890. Principles of Economics. London: Macmillan, 1: 252.
14. Romero L.F., Arce A. 2017. Applying Value Stream Mapping in Manufacturing: A Systematic Literature Review. 20th World Congress of the International-Federation-of-Automatic-Control (IFAC), 50 (1): 1075–1086.
15. Trebuna P., Pekarcikova M., Edl M. 2019. Digital value stream mapping using the tecnomatix plant simulation software. International journal of simulation modelling, 18 (1): 19–32.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Анохов Игорь Васильевич, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики предприятия и предпринимательской деятельности Байкальского государственного университета, г. Иркутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Igor V. Anokhov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of business Economics and entrepreneurship Baikal State University, Irkutsk, Russia

УДК 339.138:37

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-72-81

Управление маркетинговой деятельностью российских вузов и его адаптация к изменяющимся рыночным условиям в экономике России и на глобальных рынках

Шумакова И.А.

Белгородский национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: shumakova@bsu.edu.ru

Аннотация. Актуальность темы авторского исследования связана с необходимостью последовательного и системного достижения национальных целей развития Российской Федерации на период 2020–2030 гг. и основополагающим значением эволюции сферы высшего образования и образовательных рынков в контексте необходимости прорывной социально-экономической динамики, обоснованной, прежде всего, созданием комплекса возможностей, связанных с самореализацией и поступательным развитием личности. Самостоятельным направлением развития маркетинговой стратегии образовательных организаций высшей школы в настоящее время является выход на национальные и международные рынки с перспективой активизации экспорта образовательных услуг, привлечения международных образовательных потоков и эффективного позиционирования в глобальном научно-образовательном пространстве. Достижение конкретных результатов в указанной области, связанное с необходимостью прорывного скачка в качестве образовательных процессов, созданием национальной системы профессиональной ориентации и самоопределения перспективной молодежи, качественным ростом научно-исследовательской деятельности в сфере высшего образования, восстановлением и последовательной целевой реализацией воспитательно-образовательной функции и создания позитивного ценностно-нормативного ядра личности обучаемых, а также вовлечением их в социальную и культурную активность, требует от современных вузов как перспективных центров «экономики знаний» качественно нового уровня маркетинговых, социальных и экономических взаимодействий с ключевыми партнерами, ориентированного на устойчивое и эффективное функционирование и развитие.

Ключевые слова: маркетинговая деятельность, университет, маркетинговое управление, конкурентоспособность, управление организацией бенчмаркинг.

Для цитирования: Шумакова И.А. 2021. Управление маркетинговой деятельностью российских вузов и его адаптация к изменяющимся рыночным условиям в экономике России и на глобальных рынках. Экономика. Информатика, 48 (1): 72–81. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-72-81.

Management of marketing activities of Russian universities and its adaptation to changing market conditions in the economy Russia and global markets

Shumakova I.A.

Belgorod State University, 85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: shumakova@bsu.edu.ru

Abstract. The relevance of the author's research topic is related to the need for consistent and systematic achievement of the national development goals of the Russian Federation for the period 2020-2030. and the fundamental importance of the evolution of higher education and educational markets in the context of the need for breakthrough socio-economic dynamics, justified primarily by the creation of a complex of opportunities related to self-realization and progressive development of the individual. An independent direction in the development of the marketing strategy of higher education organizations is currently entering national and international markets with the prospect of increasing the export of educational services, attracting international educational flows and effective positioning in the global scientific and educational

space. Achievement of concrete results in this area, associated with the need for a breakthrough leap in the quality of educational processes, the creation of a national system of professional orientation and self-determination of promising young people, the qualitative growth of research activities in higher education, the restoration and consistent targeted implementation of the educational function and the creation of a positive value-normative core of the personality of students, as well as their involvement in social and cultural activities, it requires modern universities as the first centers of the "knowledge economy" to achieve a qualitatively new level of marketing, social and economic interaction with key partners, focused on sustainable and effective functioning and development.

Keywords: marketing activities, University, marketing management, competitiveness, organization management benchmarking.

For citation: Shumakova I.A. 2021. Management of marketing activities of Russian universities and its adaptation to changing market conditions in the economy Russia and global markets. Economics. Information technologies, 48 (1): 72–81 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-72-81.

Введение

Достижение конкретных результатов в указанной области, связанное с необходимостью прорывного скачка в качестве образовательных процессов, созданием национальной системы профессиональной ориентации и самоопределения перспективной молодежи, качественным ростом научно-исследовательской деятельности в сфере высшего образования, восстановлением и последовательной целевой реализацией воспитательно-образовательной функции и создания позитивного ценностно-нормативного ядра личности обучающихся, а также вовлечением их в социальную и культурную активность, требует от современных вузов как перспективных центров «экономики знаний» качественно нового уровня маркетинговых, социальных и экономических взаимодействий с ключевыми партнерами, ориентированного на устойчивое и эффективное функционирование и развитие. Успех устойчивой работы на образовательном рынке для университета зависит от реализуемой маркетинговой стратегии, отправной точкой в которой выступает рынок труда, запросы на научные исследования и разработки, далее, имеющийся потенциал вуза.

Материалы и методы исследования

Существующая российская методология маркетинга образования представлена весьма интересным научным ландшафтом, отражающим попытки отдельных ученых, творческих коллективов и научных школ в части применения традиционного и инновационных маркетинговых подходов к деятельности вузов [Акименко, 2007; Вандрикова, 2017; Колесник, 2016; Пешкова, 2020; Пономарева, 2016; Умавов, 2012; Шевченко, 2016; 2017], которые занимались изучением маркетинговой среды и особенностями поведения потребителей образовательных услуг высшей школы.

Основные результаты исследования

Достижение конкретных результатов в указанной области, связанное с необходимостью прорывного скачка в качестве образовательных процессов, созданием национальной системы профессиональной ориентации и самоопределения перспективной молодежи, качественным ростом научно-исследовательской деятельности в сфере высшего образования, восстановлением и последовательной целевой реализацией воспитательно-образовательной функции и создания позитивного ценностно-нормативного ядра личности обучающихся, а также вовлечением их в социальную и культурную активность, требует от современных вузов как перспективных центров «экономики знаний» качественно нового уровня маркетинговых, социальных и экономических взаимодействий с ключевыми партнерами, ориентированного на устойчивое и эффективное функционирование и развитие.

Современные вузы также имеют значительный потенциал участия в реализации усилий в рамках инициатив «Комфортная и безопасная среда для жизни», «Достойный, эффек-

тивный труд и успешное предпринимательство», «Цифровая трансформация» с перспективой формирования инновационно-ориентированных экосистем, обладающих стабильной маркетинговой позицией и способных обеспечить эффективную социально-экономическую интеграцию субъектов образовательных и смежных рынков.

Самостоятельным направлением развития маркетинговой стратегии образовательных организаций высшей школы в настоящее время является выход на национальные и международные рынки с перспективой активизации экспорта образовательных услуг, привлечения международных образовательных потоков и эффективного позиционирования в глобальном научно-образовательном пространстве.

Однако указанные перспективы требуют качественного роста эффективности маркетингового управления в части разработки и реализации перспективных форм и направлений организации маркетинговой деятельности вузов, призванных обеспечить высокое качество маркетинговой адаптации образовательных организаций к волатильности региональных, национального и международных рынков на основе прикладной реализации прогрессивных маркетинговых подходов и концепций, прежде всего холистической концепции, с учетом отраслевых особенностей и ограничений социально-этического характера.

Актуальность темы связана с необходимостью последовательного и системного достижения национальных целей развития Российской Федерации на период 2020–2030 гг. [О национальных целях...] и основополагающим значением эволюции сферы высшего образования и образовательных рынков в контексте необходимости прорывной социально-экономической динамики, обоснованной, прежде всего, созданием комплекса возможностей, связанных с самореализацией и поступательным развитием личности.

Изучением маркетинговой функции образовательных организаций занимался ряд ученых [Бобрик, 2013; Ешмуратова, 2012; Земляк, Савченко, 2012; Иманкулова, 2011; Кузьмина, 2014; Леденева, 2009; Платошина, 2007; Попов, 2013; Хугаева, 2016].

Ретроспективный анализ управленческого подхода к организации маркетинговой деятельности организационных субъектов показал, что ведущие исследователи проблем маркетингового управления недостаточно четко разграничивают содержание и специфику маркетинговой функции в составе корпоративного управленческого инструментария и непосредственно маркетинг-менеджмент, причем следует признать слабо разработанной на данный момент саму концепцию «идеального маркетингового управления», в рамках которой возможно полное удовлетворение запросов и интересов всех субъектов современных маркетинговых систем.

Процессная организация маркетингового управления, отстаиваемая рядом авторов, требует уточнения в части состава, специфики, ресурсов и результатов реализации конкретных процессов, которые в значительной степени отличаются в различных видах экономической деятельности, особенно по фактору времени предоставления экономического блага и возможностей дальнейшего маркетингового взаимодействия на основе концепции потока потребительской ценности.

Подчеркнем и высоко отметим содержательность определения А.А. Барановского [Барановский, 2007], указывающего на существенные особенности маркетингового управления в образовании, состоящие в повышении потребительской ценности уникального торгового предложения образовательных услуг и продуктов на основе формирования и развития корпоративного «человеческого капитала» и модернизации состава и отдельных образовательных технологий и продуктов», ключевым показателем этой деятельности, по мысли автора, должен стать рост конкурентоспособности конкретного вуза.

Автором сформулированы следующие выводы относительно состава и значимости проблем разработки, реализации и оценки эффективности управления маркетингом на рынках товаров и услуг:

– современный уровень теоретического поиска в части проблем маркетингового управления ограничен поиском содержательных отличий между функциональной и интегрированной формой реализации маркетинговых воздействий, причем подавляющее большин-

ство авторов отождествляют реализацию нескольких маркетинговых функций и маркетинговое управление, на наш взгляд, без должного методологического обоснования;

– нуждается в значительном пересмотре и модернизации методология организации маркетингового управления в части перехода от реализации отрывочных маркетинговых воздействий и интуитивной оценки их эффективности к системному и целенаправленному процессу создания и реализации маркетинговых и конкурентных преимуществ, обеспечивающих рост корпоративной стоимости и устойчивое и долгосрочное достижение целей функционирования предприятий и организаций в пределах маркетинговых систем;

– самостоятельным направлением научного поиска в части повышения эффективности управления маркетингом на рынках товаров и услуг является отраслевая и локальная специфика осуществления видов экономической деятельности и возможностей их маркетингового сопровождения, учитывающего стратегические детерминанты потребительского поведения в части выбора товара / услуги и поставщика, процесса покупки и послепродажных процессов, в том числе внутренних маркетинговых возможностей в случае длительного цикла операционного взаимодействия, а также предпосылок реализации резерва лояльности и долгосрочных взаимовыгодных отношений как значимого нематериального маркетингового актива.

Концепция маркетингового управления в настоящее время относится к числу недостаточно разработанных, но крайне востребованных со стороны теории, методологии и практики маркетинговых концепций, и характеризует качественно более высокий в сравнении с функциональной организацией маркетинга подход к пониманию, инициации и использованию фундаментальных рыночных взаимодействий с учетом особенностей специфики конкретных рыночных (маркетинговых) локаций.

Сущность маркетингового управления определена нами в контексте полного охвата потребительского поведения на всех его стадиях, в том числе на этапе послепродажных процессов и обратной конверсии, ориентированных на выход за пределы задачи по стохастическому привлечению платежеспособного спроса, характерного для реализации фрагментарных маркетинговых воздействий и централизованной маркетинговой функции, и переход к методологии формирования устойчивого и качественного клиентского потока за счет монетизации корпоративной системы нематериальных маркетинговых активов, к числу которых мы отнесли уровень удовлетворенности покупателей / потребителей, инструменты и методики адвокации бренда в потребительских потоках и сообществах, а также показатели сформированного единичного или потокового лояльного спроса.

В современных условиях маркетинговое управление современной организацией ориентировано прежде всего на конкурентоспособность и конкурентную устойчивость корпоративного субъекта в системе волатильных маркетинговых факторов макро- и микросреды, учитывает необходимость формирования ядра корпоративной конкурентоспособности и инициации системы нуклеарных и воспроизводственных маркетинговых процессов, способных обеспечить развитие долгосрочных регулярных взаимовыгодных отношений в системе маркетинга с учетом холистической социально-этичной маркетингово-корпоративной ориентации.

Авторский подход к развитию теории маркетингового управления, ориентированного на конкурентоспособность, включает в себя следующие элементы:

– сравнительную характеристику традиционной и современной моделей принятия и реализации потребительского решения в части особенностей и возможностей децентрализации и интеграции маркетинговой функции с перспективой перехода к полноформатному маркетинговому управлению;

– классификацию особенностей децентрализованной (фрагментарной), централизованной и интегрированной форм реализации маркетинговых функций в контексте эффективности маркетингового управления;

– разграничение и содержательное описание направленности, эффективности и возможностей интеграции маркетинговых воздействий при реализации функционального и системно-управленческого подходов к организации маркетинговой деятельности;

– разработку актуальной корпоративной модели стратегического маркетингового управления.

Проблемы управления маркетинговой деятельностью в российской высшей школе связаны прежде всего с наличием ряда существенных особенностей формирования и развития маркетинговой среды и факторов поведения потребителей образовательных услуг высшей школы:

– усиление административного регулирования сферы предложения образовательных услуг и продуктов в части институционального состава (с акцентом на государственные и муниципальные вузы) и качества предоставляемых услуг в части их соответствия федеральным образовательным стандартам;

– значительный уровень иррациональности факторов потребительского выбора образовательного продукта / услуги и вуза-поставщика на фоне значимости семейного фактора (одобрения родителями – покупателями продукта / услуги);

– недостаточный уровень внедрения традиционных инструментов управления маркетингом, прежде всего маркетинговых информационных систем, адаптированных к специфике образовательной деятельности среднего и высшего профессионального уровня.

Необходимо подчеркнуть фрагментарность современных исследовательских инициатив в части поиска и экономически целесообразной реализации конкретных маркетинговых резервов, заложенных в концепции маркетингового управления, ориентированного на получение системы долгосрочных комплексных эффектов маркетингового, операционного, социально-экономического плана. Объединяющими имеющими место подходы моментами являются именование скорости маркетинговых изменений и конкурентоспособности вуза как соответственно основной причины и стратегического результата маркетингового управления, а также понимание возможностей внутренней фокусировки образовательной организации на эффективном взаимодействии и дополнительных маркетинговых воздействиях на потребителей образовательных услуг и продуктов, находящихся в ходе получения соответствующего экономического блага. Возвратный (ремаркетинговый) поток лояльных клиентов и усиление их роли и значимости в формировании операционных итогов работы вуза, предшествующих началу учебного года (набор контингента обучающихся) не нашел должного рассмотрения и обоснования в рассмотренных трудах российских исследователей.

Подчеркивая перспективность применения отдельных цифровых возможностей и технологий в процессах маркетингового и операционного взаимодействия вуза с субъектами его системы маркетинга, отметим, что непосредственно цифровой формат образовательного маркетинга всего лишь открывает новые технологические возможности, способствующие повышению эффективности функционального взаимодействия и реализации определенных маркетинговых резервов.

Цифровой маркетинг в сфере образования может и должен быть ориентирован на поддержку конкретного формата функциональной реализации маркетингового инструментария управления (децентрализованный фрагментарный маркетинг, централизованная маркетинговая функция, маркетинговое управление) с соответствующей организационной, нормативной и бюджетной поддержкой, а также преимущественно процессной и непрерывной формой реализации с вовлечением всех целевых аудиторий и стейкхолдеров, обладающих потенциалом роста эффективности деятельности вузов и их конкурентоспособности на существующих и перспективных образовательных рынках.

В исследовании выявлен недостаточный, на наш взгляд, уровень научного понимания и теоретико-методического обоснования современных концепций и представлений о необходимости, содержании и конкретных направлениях управления маркетинговой деятельностью современных российских вузов, ориентированных на конкурентоспособность. Аксиоматическое утверждение об обострении конкурентной борьбы на локальных или региональных рынках об-

разовательных услуг, характерное для большинства отечественных авторов, не обосновано конкретными фактами потребительского выбора и поведения, а связано, на наш взгляд, прежде всего, с негативными демографическими тенденциями – т. е. факторами, качественно отличающимися от детерминантов конкуренции.

В настоящее время развитие образовательных рынков регионального и национального масштаба в Российской Федерации характеризуется усилением государственного давления и ужесточением администрирования предложения образовательных услуг и продуктов в части институционального состава (с акцентом на государственные и муниципальные вузы) и качества предоставляемых услуг в части их соответствия федеральным образовательным стандартам. При этом особенностями современного этапа внедрения концепции маркетингового управления являются значительный уровень иррациональности факторов потребительского выбора образовательного продукта/услуги и вуза-поставщика на фоне значимости семейного фактора (одобрения родителями – покупателями продукта / услуги) и фрагментарность внедрения традиционных инструментов управления маркетингом. При этом рыночная конъюнктура определяется скоростью маркетинговых изменений и конкурентоспособностью вуза, и является основным фактором результативности маркетингового управления.

Отраслевой особенностью стратегической конкурентоспособности вуза является отсутствие жесткой детерминированности результатов обучения и невозможность линейной связи, например, бренда вуза и уровня оплаты труда выпускников на определенных этапах профессиональной траектории, в силу отсутствия (недостаточного масштаба) опыта трудовой деятельности и первичной профессиональной ориентации в конкретном виде экономической активности, недостаточной эффективности профессиональной ориентации представителей целевой клиентской группы потенциальных потребителей образовательных услуг и продуктов в период их активизации и конверсии в состояние клиентского потока «Абитуриенты», отсутствия заинтересованности вуза в заключительном маркетинговом контроле реального качества и конкурентоспособности образовательной услуги / продукта в течение 3, 5 и 10-летних интервалов профессиональной деятельности выпускников (в силу затратности подобного рода исследовательских мероприятий и отсутствия прямого экономического эффекта от их осуществления).

Конкурентоспособность современного вуза относится к числу категорий образовательного рынка и имеет теоретическое и практическое значение в маркетинговой ориентации отечественных образовательных организаций на современные российские вузы, на формирование локальных / региональных, а также межрегиональных / национальных и международных потоков абитуриентов и обучаемых, позволяет образовательной организации участвовать в национальных и международном маркетингово-конкурентном процессе. Прикладная постановка и реализация прикладных целей и задач роста конкурентоспособности в составе перспективных маркетинговых стратегий требует существенной модернизации теоретического и организационно-экономического обеспечения, учитывающего необходимость повышения конкурентоспособности вуза в условиях ярко выраженной специфики маркетинговых взаимодействий, сопровождающих организацию, течение и финализацию основного образовательного процесса и возможностей, его сопровождающих.

Современные российские вузы свободны в формировании не только локальных / региональных, но и межрегиональных / национальных и международных потоков абитуриентов и обучаемых, способны выступать субъектами конкуренции на национальном и глобальных рынках, привлекать на обучение и использовать маркетинговый потенциал клиентских групп и потоков из-за традиционных региональных, а в случае городов – федеральных центров национальных границ рыночных локаций. Однако постановка и реализация прикладных целей и задач роста конкурентоспособности в составе перспективных маркетинговых стратегий требует конкретного и точного определения используемых терминов и категорий, применения релевантных оценочных показателей, характеризующих динамику роста конкурентоспособности и реальную эффективность маркетинговых управленческих воздействий и активности образовательных организаций.

Приращение научного знания, представленное в авторском подходе к организации и повышению эффективности управления маркетинговой деятельностью, ориентированного на перманентный рост конкурентоспособности образовательных организаций, состоит в:

- развернутой характеристике и выявлении отраслевой и маркетинговой специфики конкуренции как формы, ориентира и фактора эффективности маркетингового управления современной образовательной организацией;
- раскрытии особенностей конкурентоспособности вуза как социально-экономического института и центрального субъекта маркетинговых систем;
- обосновании репрезентативной и релевантной системы показателей и методов оценки конкурентоспособности вуза с позиций маркетингового управления;
- определении перспективных направлений и методов маркетингового управления конкурентоспособностью образовательной организации на различных уровнях организации маркетинговых воздействий.

На наш взгляд, в маркетинговом управлении современным вузом должны быть четко структурированы и упорядочены ключевые направления повышения конкурентоспособности, соотнесенные с имеющимися стратегическими, операционными и тактическими маркетинговыми возможностями. Такой подход позволяет обеспечить интеграцию маркетинговых усилий по росту конкурентоспособности выпускников и использованию ресурса взаимодействий с ними в маркетинговой стратегии образовательного учреждения, росту конкурентоспособности на целевом рынке в виде перераспределения клиентского потока абитуриентов и занятия доли рынка, необходимой для ведения образовательной деятельности, а также росту конкурентоспособности вузов как реальных центров «экономики знаний», способных к генерации и коммерциализации инноваций как перспективного направления постиндустриального экономического развития.

Исследование научно-исследовательского ландшафта маркетингового управления в образовательной деятельности современных российских вузов показало, что имеет место недостаточность существующей системы статистического наблюдения в сфере образования, характеризующейся полным охватом деятельности образовательных организаций, но не дающей представления о закономерностях и границах образовательных рынков различных масштабов и специфики. В то же время необходимо положительно оценить концентрированный характер полевых исследовательских инициатив ряда отечественных авторов, отвечающий целям и задачам конкретных диссертационных исследований, но не позволяющий получить комплексную маркетинговую характеристику целевых рынков, в том числе в разрезе клиентских групп и потоков. Кроме того, отметим явно недостаточное количество системных разработок методологии маркетингового управления в привязке к специфике потребительского поведения и мотивам потребительского выбора клиентских групп и потоков, обусловленных спецификой образовательной деятельности в целом и ее существенных маркетинговых аспектов (операционный цикл, лояльность, зависимость от бюджетного финансирования, деградация организационного ценноза и т. д.) в частности.

Развитие научных представлений в части повышения функциональности маркетингового управления образовательными организациями высшей школы, учитывающего специфику образовательного вида деятельности и наличие, и структуру клиентских групп и потоков осуществлено нами в следующей логической последовательности:

- классификация методов планирования, организации, мотивации и контроля в структуре стратегических, операционных и тактических маркетинговых взаимодействий, и воздействий;
- классификация форм организации маркетингового управления в образовательной организации;
- особенности формирования и эволюции организационных структур маркетинга в образовательной организации в соответствии с масштабами реализации концепции маркетингового управления;

– система операционных и маркетинговых результатов и эффектов деятельности организационных структур маркетинга в образовательной организации в соответствии с масштабами реализации концепции маркетингового управления;

– система стратегических результатов деятельности организационных структур маркетинга в образовательной организации в соответствии с масштабами реализации концепции маркетингового управления.

Итогом прикладной реализации авторского подхода должен стать системный рост конкурентоспособности и конкурентной устойчивости образовательных организаций на всех типах образовательных рынков, обоснованный численностью и качеством личности и профессиональной компетентности выпускников, которые, в случае позитивного потребительского опыта получения образовательных продуктов и услуг, способны к формированию ре-маркетинговых клиентских запросов и потоков, эффективной адвокации бренда в цифровых каналах коммуникаций и референтных группах, формированию и развитию целевых потребительских сообществ, регулярным экономическим и неэкономическим взаимодействиям с *alma mater*, прямо определяющей траекторию личного и профессионального развития на протяжении всей жизни конкретного человека.

Заключение

Проведенное исследование позволило получить следующие результаты. Национальный рынок услуг и продуктов высшего образования относится к числу весьма волатильных маркетинговых систем, характеризуемых противоречивыми особенностями и тенденциями функционирования и развития на фоне стратегического значения сферы образования в перспективном социально-экономическом развитии Российской Федерации. Рассматриваемый рынок трудно считать полноценной маркетинговой системой, функционирующей в соответствии с рыночными законами и закономерностями. Масштабы поступления средств в конкретные образовательные организации в значительной мере зависят от форм и методов бюджетного финансирования всех реализуемых видов деятельности (образовательная, научно-исследовательская, прочая).

Соответственно целесообразность массированного внедрения и применения инструментария маркетингового управления может создать дополнительные конкурентные преимущества, но не является в настоящее время единственным фактором роста образовательной конкурентоспособности, хотя и позволяет мобилизовать и реализовать стратегические долгосрочные резервы роста устойчивости функционирования и развития российских вузов.

Список источников

1. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года. Указ Президента РФ от 21.07.2020 г. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/63728> (дата обращения: 18 декабря 2020).

Список литературы

1. Акименко В.А. 2007. Аффилиарный маркетинг в рыночной политике государственных и негосударственных учреждений высшего профессионального образования. Автореф. дис. канд. экон. наук. Сочи, НОЦ российской академии образования, 19.

2. Барановский А.И. 2007. Управление маркетингом непрерывного многоуровневого образования. Омск, ОГПУ, 218.

3. Бобрик А.В. 2013. Система менеджмента качества и маркетинг учреждений высшего профессионального образования. Чрезвычайные ситуации: образование и наука, 8 (1): 77–82.

4. Вандрикова О.В. 2017. Маркетинг образовательных услуг в системе высшего образования. Вестник Академии знаний, 4: 65–70.

5. Ешмуратова А.Ф. 2012. Маркетинг в системе высшего образования как необходимый предмет. Современные научные исследования, 4: 22.

6. Земляк С. В., Савченко Ю. Ю. 2012. Маркетинг услуг высшего профессионального образования: компетентностная модель продукта. Современные проблемы науки и образования, 4: 202.

7. Иманкулова Э.Т. 2011. Маркетинг образовательных услуг в системе менеджмента образования. Экономика, 10: 128–132.
8. Колесник Е.А. 2016. Маркетинг высшего образования: тенденции развития. Здоровье и образование в XXI веке, 18 (2): 749–752.
9. Кузьмина Е.Е. 2014. Маркетинг образовательных услуг. М., Юрайт, 330.
10. Леденева И.Н. 2009. Маркетинг в системе среднего профессионального образования. Вестник Саратовского государственного технического университета, 1: 214–223.
11. Пешкова И.Г. 2020. Маркетинговые коммуникации в современных образовательных организациях. Автореф. дис. ... канд. экон. наук. Ростов-на-Дону, РИНХ, 30.
12. Платошина Г.Г. 2007. Стратегический маркетинг высшего образования. Экономика образования, 4: 14–20.
13. Пономарева Е.А., Тлимахова Ф.А. 2016. Маркетинг в сфере образования. Сборники конференций НИЦ Социосфера, 61: 66–69.
14. Попов Г.Ю. 2013. Маркетинг отношений в учреждениях высшего профессионального образования. Автореф. дис. ... канд. экон. наук. М., РЭУ им. ГВ. Плеханова, 26.
15. Умавов Ю.Д. 2012. Маркетинг высшего образования: новые тенденции и перспективы. Вопросы структуризации экономики, 2: 41–44.
16. Хугаева М.В. 2016. Маркетинг в сфере высшего образования: особенности и перспективы развития. Образование и наука в современных условиях, 2–2: 207–209.
17. Шевченко Д.А. 2017. Маркетинг в сфере образования. Статья 2. Маркетинговая среда образовательной организации. Практический маркетинг, 1: 3–11.
18. Шевченко Д.А. 2016. Маркетинг в сфере образования: История становления и формирования рынка системы высшего образования в России. Психология и педагогика служебной деятельности, 4: 15–24.

References

1. Akimenko V. A. 2007. Affiliate marketing in the market policy of state and non-state institutions of higher professional education. Author of the dissertation of the Candidate of Economic Sciences. Sochi, REC of the Russian Academy of Education, 19.
2. Baranovsky A. I. 2007. Marketing management of continuous multi-level education. Omsk, OGPU, 218.
3. Bobrik A.V. 2013. Quality management system and marketing of institutions of higher professional education. Emergency situations: education and science, 8 (1): 77–82.
4. Vandrikova O. V. 2017. Marketing of educational services in the system of higher education. Bulletin of the Academy of Knowledge, 4: 65–70.
5. Eshmuratova A. F. 2012. Marketing in the system of higher education as a necessary subject. Modern scientific research, 4: 22.
6. Zemlyak S. V., Savchenko Yu. Y. 2012. Marketing of higher professional education services: a competency-based product model. Contemporary problems of science and education, 4: 202.
7. Imankulova E. T. 2011. Marketing of educational services in the system of education management. Economy, 10: 128–132.
8. Kolesnik E. A. 2016. Marketing of higher education: development trends. Health and education in the XXI century, 18 (2): 749–752.
9. Kuzmina E. E. 2014. Marketing of educational services. Moscow, Yurayt, 330.
10. Ledeneva I. N. 2009. Marketing in the system of secondary vocational education. Bulletin of the Saratov State Technical University, 1: 214–223.
11. Peshkova I. G. 2020. Marketing communications in modern educational organizations. Autoref. dis. ... candidate of Economic Sciences. Rostov-on-Don, RINH, 16.
12. Platoshina G. G. 2007. Strategic marketing of higher education. Economics of education, 4: 14–20.
13. Ponomarev E. A., Tlimakhov F. A. 2016. Marketing in education. Collection of conferences, 61: 66–69.
14. Popov G. Yu. 2013. Marketing of relations in institutions of higher professional education. Autoref. dis. ... Candidate of Economic Sciences, Moscow, Plekhanov Russian University of Economics, 26.
15. Umavov Yu. D. 2012. Marketing of higher education: new trends and prospects. Issues of structuring the economy, 2: 41–44.
16. Khugaeva M. V. 2016. Marketing in the sphere of higher education: features and prospects of development. Education and science in modern conditions, 2–2: 207–209.

17. Shevchenko D. A. 2017. Marketing in the field of education. Article 2. Marketing environment of an educational organization. *Practical marketing*, 1: 3–11.
18. Shevchenko D. A. 2016. Marketing in the field of education: The history of the formation and formation of the market of the higher education system in Russia. *Psychology and pedagogy of official activity*, 4: 15–24.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Шумакова Ирина Алексеевна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры педагогики, директор департамента подготовки и аттестации научно-педагогических кадров Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Irina A. Shumakova, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Pedagogy, Director of the Department of Training and Certification of Scientific and Pedagogical Personnel Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

PUBLIC AND BUSINESS FINANCE

УДК 336.64

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-82-88

Замещение банковского кредита эмиссией рыночных долговых обязательств как мера стимулирования инноваций в экономике страны

Зенкина Е.В.ФГБУН Институт экономики РАН,
117218, г. Москва, Нахимовский проспект, 32
e-mail: evzenkina@mail.ru

Аннотация. В рамках данной статьи рассмотрены принципы кредитования, особые признаки эмиссии рыночных долговых обязательств и преимущества их выпуска. При этом отмечается, что эффективным методом привлечения инвестиций для развития бизнеса является выпуск облигационных займов. В начале XXI столетия в мире наблюдается тенденция роста значимости рынка долговых финансовых инструментов в финансировании деятельности компании и сейчас в развитых странах облигационная масса корпораций составляет порядка 15-65% общих объемов эмиссий корпоративных ценных бумаг. В целом, в рамках традиционной модели развития мировой экономики и общепринятой теоретической модели международного движения капитала предполагается активная работа на финансовых рынках. Сегодня в свете поиска мер поддержки малого и среднего бизнеса, а также мер стимулирования инноваций в экономике страны, на рынок корпоративных облигаций в России возлагаются большие надежды как на перспективный источник дополнительных инвестиционных ресурсов для реального сектора экономики особенно когда вынужденные локдауны из-за пандемии Covid-19 приостановили значительную долю активности реального сектора экономики во всем мире. Автором сделан вывод о том, что, исходя из преимуществ эмиссии долговых ценных бумаг, в долгосрочной перспективе все большее количество компаний будут выбирать данный вид финансирования своей деятельности в качестве основного.

Ключевые слова: развитие малого и среднего бизнеса, мировые тенденции, эмиссия рыночных долговых обязательств компаниями, банковский кредит, меры поддержки малого и среднего бизнеса, экономическая политика России.

Для цитирования: Зенкина Е.В. 2021. Замещение банковского кредита эмиссией рыночных долговых обязательств как мера стимулирования инноваций в экономике страны. Экономика. Информатика, 48 (1): 82–88. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-82-88.

Replacement of bank credit with issue of market debt obligations as a measure of stimulation of innovations in the economy of the country

Zenkina E.V.State Budgetary Institute of Economics Russian Academy of Sciences (RAS),
32 Nakhimovskiy ave, Moscow, 117218, Russia
e-mail: evzenkina@mail.ru

Abstract. Within the framework of this article, the principles of lending, special features of the issue of market debt obligations and the advantages of their issuance are considered. At the same time, it is noted that the effective

method of attracting investments for business development is the issuance of bond loans. At the beginning of the XXI century, there is a growing trend in the world of the importance of the debt financial instruments market in financing the company's activities, and now in developed countries the bond mass of corporations accounts for about 15-65% of total issues of corporate securities. In general, within the framework of the traditional model of development of the world economy and the generally accepted theoretical model of international capital flows, active work in financial markets is assumed. Today, in the light of the search for measures to support small and medium-sized businesses, as well as measures to stimulate innovation in the country's economy, the corporate bond market in Russia has high hopes as a promising source of additional investment resources for the real sector of the economy. The author fairly concluded that, based on the advantages of issuing debt securities, in the long term, an increasing number of companies will choose this type of financing of activities as the main one.

Keywords: development of small and medium-sized businesses, global trends, issuance of market debt obligations by companies, bank credit, advantages of issuing debt obligations, measures to support small and medium-sized businesses, Russian economic policy.

For citation: Zenkina E.V. 2021. Replacement of bank credit with issue of market debt obligations as a measure of stimulation of innovations in the economy of the country. Economics. Information technologies, 48 (1): 82–88 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-82-88.

Введение

Наряду с традиционным банковским кредитованием, важным каналом заимствования капитала для развития бизнеса компаний остается выпуск облигационных займов [Мировая экономика 2019]. С начала XX столетия в мире развивается тенденция роста роли рынка долговых финансовых инструментов в финансировании деятельности компаний. В результате этого в настоящее время в развитых странах корпоративные облигации составляют от 15% до 65% общих объемов эмиссий корпоративных ценных бумаг.

Банковский кредит – денежная сумма, которую банк или кредитная организация выдает заемщику под фиксированный процент и на определенный срок. Перед выдачей кредита банку необходимо удостовериться в платежеспособности заемщика, после чего согласовывается ставка и срок кредита. Банк имеет право отказать в кредите в случае, если:

- банку предоставлена недостоверная или поддельная информация;
- у потенциального заемщика плохая кредитная история;
- деятельность организации не вызывает доверия;
- у организации большой объем заемных средств;
- доход организации нестабильный или отрицательный;
- цель кредита нецелесообразна с точки зрения банка;
- отсутствует необходимое обеспечение.

Несмотря на большой перечень условий и формальностей со стороны банка, данный вид финансирования все еще является самым распространенным среди малого, среднего и крупного бизнеса. Однако в последнее время мы наблюдаем ускорение тенденции привлечения денежных средств путем эмиссии долговых обязательств.

Методология исследования

Для достижения поставленной цели и решения задач использовались диалектический и системный подходы, общенаучные методы ретроспективного, ситуационного, компаративного, факторного анализа, контент-анализ научной литературы, экономико-статистический, сравнительный, аналитические методы исследования. Исследовательский подход основан на сравнении зарубежных примеров мер поддержки бизнеса за рубежом (на примере Китая и Великобритании) и ситуации в России.

Теоретическая основа исследования

Долговыми эмиссионными ценными бумагами, согласно ст. 816 ГК РФ, а также ст. 2 Федерального закона РФ № 39-ФЗ, называются облигации [Федеральный закон РФ "О рынке ценных бумаг" от 22 апреля 1996 г.]. Эмиссия рыночных долговых обязательств среди прочего, направлена на получение займа под фиксированный процент и на определенный срок. В данном случае эмитент сам прописывает процент и период выплаты всей задолженности. Вместе с тем, сам эмитент и предложенные условия должны привлечь потенциального инвестора, который в первую очередь оценивает риск-доходность ценной бумаги. Соответственно, большая часть инвесторов чаще вкладывает денежные средства в крупные проверенные компании.

В целом, эмитентом может стать компания любого размера, однако существуют определенные критерии, которым она должна соответствовать для гарантирования возможности выполнения обязательств по долговым бумагам:

Облигационные займы не подойдут новым компаниям (стартапам), которые существуют на рынке менее 2-3 лет. Компания должна быть устойчивой и ее деятельность должна приносить стабильный доход.

Для привлечения потенциальных инвесторов необходимо предоставлять актуальную информацию о деятельности и планах развития компании. Прежде чем выходить на облигационный рынок компания должна уже иметь хорошую репутацию.

Эмиссия облигаций возможна только, если компания полностью выплатила свой уставной капитал, складочный капитал, паевой фонд, уставной фонд.

Результаты исследования

Многие средние и крупные компании выбирают в качестве финансирования своей деятельности именно выпуск долговых обязательств по ряду причин. В первую очередь, долговые обязательства являются более гибким инструментом, нежели банковский кредит. Как нами было ранее отмечено, организация сама регулирует параметры займа: сроки, досрочный выкуп, досрочное погашение, объем займа и срок. Купон, который выплачивает компания инвесторам, может быть на несколько процентов ниже, чем выплаты по банковскому кредиту. Это самый дешевый вид кредитования для компании.

В отличие от банковского займа полученные средства от продажи облигаций эмитент может использовать для любой необходимой цели, не предоставляя отчетов в банк. В то время как банковская организация выдает кредит на определенную и целесообразную цель. Обеспечение кредита определяется кредитором, который выставляет высокие требования. При выпуске облигаций залоговое обеспечение необязательно. И, несмотря на большие затраты на выпуск облигаций, компания может привлечь в среднем гораздо больший объем средств, нежели при получении кредита. В настоящее время в развитых странах уже четко наметилась тенденция широкого использования компаниями этого инструмента заимствования [Малинина Е.В., 2011; Зенкина Е.В., 2020]. Как следствие, имеет место и реформирование деятельности банков.

Анализируя ситуацию в России, можно отметить, что современный российский рынок облигаций устойчиво растёт [Росконгресс, 2021]. Низкий уровень инфляции расширяет горизонт прогнозирования. Санкции стимулируют российские компании проводить заимствования внутри страны.

Согласно отчету информационного агентства по финансам Cbonds в конце 2020 года [Cbonds, 2021], объем российских корпоративных облигаций достигал 15,6 трлн руб. (около 1918 выпусков). В итоге объем внутреннего рынка облигаций достиг около 30% от ВВП. Для сравнения, в 2009 году объем корпоративных облигаций в обращении составлял всего 2,5 трлн руб. [Аналитическое кредитное рейтинговое агентство, 2019].

Что так сильно повлияло на интерес компаний в выпуске облигаций? С начала 2020 года Центробанк снизил ключевую ставку до рекордного 4,25%. Соответственно, чем ниже

ставки на рынке, тем дешевле эмитенты могут занять через размещение облигаций. Со стороны частных инвесторов тоже наблюдался повышенный интерес в покупке корпоративных облигаций. За 11 месяцев 2020 года на МОЕХ было зарегистрировано 4.2 млн новых счетов (рост на 107% по сравнению с предыдущим годом). В связи со снижением ставки по депозитам, все больше россиян переводят свои денежные средства в рынок облигаций [Московская биржа, 2021].

На протяжении последних лет наблюдалось последовательное упрощение процедуры выпуска облигаций, в частности, введена возможность выпускать облигации в рамках программы облигаций [Новеллы законодательства о рынке ценных бумаг, 2020].

Общий срок размещения теперь не ограничен законом. При этом следует учитывать, что для целей размещения с регистрацией проспекта ценных бумаг, с даты регистрации проспекта ценных бумаг должно пройти не более 1 года, после этого размещение возможно только при условии регистрации нового проспекта ценных бумаг. Введен упрощенный порядок внесения сведений о реквизитах залогового счета в решение о выпуске облигаций с залоговым обеспечением денежными требованиями. Подписание документов, представляемых на регистрацию выпусков ценных бумаг, теперь допускается по доверенности. Эти изменения процедуры эмиссии различных видов Корпоративных облигаций существуют в соответствии с Федеральным законом № 514-ФЗ (начало действия документа – 01.01.2020 (за исключением отдельных положений) [Банк России. Корпоративные облигации: памятка эмитенту, 2020].

Рассмотрим текущую ситуацию в сфере банковского кредитования. В связи с резким снижением экономического роста в 2020 году, банки предоставляли малому и среднему бизнесу льготные госпрограммы. Компании могли взять кредит под 0% для выплаты зарплаты сотрудникам и под 2% на поддержку занятости [Сбербанк, 2021]. Следствием этого был быстрый рост корпоративного кредитования – на 1-е декабря 2020 года прирост кредитования организаций составлял 10,1%. Итого было получено финансирование на 487,5 млрд. руб. [Риарейтинг, 2021].

Заметим, что в 2020 году наблюдался резкий рост и в сфере банковского кредитования, и на рынке корпоративных облигаций [Celik S., G. Demirtaş and M. Isaksson, 2019; Bank for International Settlements, 2021]. Необходимо отметить, что увеличение объемов кредитных займов напрямую зависело от мер поддержки малого и среднего бизнеса и в целом мягкими денежно-кредитными условиями для организаций. В 2021 году Минэкономразвития России снизило предельную ставку основной программы кредитования малых и средних предприятий (МСП) с 8,5% до не более чем 7% в текущем году, тем самым сделав доступнее этот вид финансирования для предпринимателей. Предполагается, что данные меры помогут в поддержании текущей деятельности организаций и в развитии бизнеса и запуска новых проектов, особенно когда вынужденные локдауны из-за пандемии Covid-19 приостановили значительную долю активности реального сектора экономики во всем мире.

Однако нужно иметь в виду, что существуют отложенные риски, связанные с мораторием на банкротство, кредитными каникулами и льготными ставками кредитования, которые заморозили часть проблем бизнеса, но не устранили их [Greenwood R. and S.G. Hanson, 2013]. Показатели смогут держаться на текущем уровне только за счет продления программ льготного кредитования в 2021 году.

В дальнейшем после выхода из экономического кризиса банки снова ужесточат требования по выдаче кредитов для малых и средних предприятий [Cerutti E., Claessens S. and Ratnovski L., 2017]. Исходя из преимуществ эмиссии долговых ценных бумаг, можно сделать вывод, что в долгосрочной перспективе все больше компаний будут выбирать данный вид финансирования в качестве основного.

Для сравнения считаем важным рассмотреть меры поддержки бизнеса за рубежом, на примере Китая и Великобритании.

Основное внимание правительства зарубежных стран обращено на развитие малого и среднего бизнеса, т.к. именно там сосредоточена основная часть рабочей силы, и эти компании являются основой экономического развития страны [Финк Т.А., 2012].

Правительство Китая оказывает всестороннюю поддержку малого и среднего бизнеса. Предприятия освобождены от уплаты [Простобанк Консалтинг, 2021] налогов и выплат за социальное страхование. Кроме того, для них установлены пониженные ставки по кредитам и возможны отсрочки погашения уже взятых кредитов.

В 2002 году был учрежден Государственный фонд развития малых и средних предприятий, финансирование которого осуществляется за счет средств бюджета страны.

Существует “Национальная комиссия по развитию и реформированию”. Этот орган занимается формированием условий для динамичного развития малого и среднего бизнеса в Китае.

В Китае распространена не только финансовая, но и консультационная и организационная поддержка предпринимателей. Так, Департамент малого и среднего бизнеса и Китайский центр координации и кооперации бизнеса оказывают консультационную помощь, организуют выставки и ярмарки, а также деловые встречи для обмена опытом.

В Великобритании малый и средний бизнес также играет важную роль в экономике всей страны, и правительство стремится создать все условия для его развития.

В апреле 2011 года была запущена программа StartUp Britain, которая оказывает всестороннюю поддержку малому бизнесу. В 2012 году был объявлен запуск программы Tech City Investment Organisation объемом финансирования в 50 млн фунтов. В том же году была построена программа The Growth Accelerator объемом 200 млн фунтов. Еще одним инструментом является Technology Strategy Board, который делает ставку на стимулирование инноваций в экономике страны [Савченко Е.О., 2013].

Помимо различных совместных инициатив крупных компаний и институтов, правительство стимулирует экономику страны путем создания новых бизнес-зон, обладающих существенными льготами.

В Кейблом была создана относительно молодое направление кредитования Business Finance Partnership, которое подразумевает онлайн займы без посредников. Суммы займов не превышают в основном 200 тыс. фунтов и берутся под высокий процент.

Крупный бизнес также играет важную роль в финансировании малого и среднего бизнеса. Бизнесмены, осознавая важность развития национальной экономики, спонсируют различные специализированные площадки, связывающие инвесторов и предпринимателей (Crowdcube, Indiegogo, Kickstarter, Seedrs).

Рост популярности указанных инструментов обусловлен прежде всего нежеланием крупных банков (например, RBS, Barclays, HSBC, Lloyds) кредитовать малый бизнес страны из-за достаточно высоких, по их мнению, рисков.

Заключение

Проанализировав опыт финансирования МСП за рубежом, можно сделать вывод, что меры государственной поддержки являются основой стимулирования развития экономики [Малинина Е.В., 2009; Малинина Е.В., 2010]. Создание различных программ, сообществ помогают начинающим предпринимателям поднять обороты компании и выйти на более высокий уровень. Как только компания будет показывать устойчивые результаты развития [Elsai-fy, A. and N. Roussanov, 2016], она может прибегнуть к более масштабным методам финансирования бизнеса – к эмиссии рыночных долговых обязательств.

Список литературы

1. Аналитическое кредитное рейтинговое агентство (АКРА). Краткое описание российского рынка облигаций. URL: <https://www.acra-ratings.ru/research/1119> (дата обращения: 20.01.2021).
2. Банк России. Корпоративные облигации: памятка эмитенту. URL: https://invest-in-ural.ru/upload/Памятка_эмитенту.pdf (дата обращения: 19.01.2021).
3. Зенкина Е.В. 2020. В поисках новых инструментов стимулирования экономического развития. Инновации и инвестиции, 5: 38–41.

4. Информационное агентство по финансам Cbonds. URL: <https://cbonds.ru/news/1309851/> (дата обращения: 20.01.2021).
5. Малинина Е.В. 2010. Совершенствование механизма защиты национальных интересов в финансовой сфере. Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право, 6 (49): 31–40.
6. Малинина Е.В. 2009. Эффективность национальной политики в условиях финансовой глобализации: валютный аспект. Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право, 3: 228–236.
7. Малинина Е.В. 2011. Роль капитализации в современной мировой экономике. Финансы и кредит, 13 (445): 63–66.
8. Мировая экономика. 2019. Ю.А. Щербанин, Е.В. Зенкина, П.И. Толмачев, В.М. Грибанич, А.В. Дрыночкин, Е.В. Королев, В.М. Кутовой, Б.Б. Логинов. Москва: ООО "Издательство "Юнити-Дана", 503.
9. Московская биржа. Новости и пресс-релизы URL: <https://www.moex.com/n31494/?nt=106> (дата обращения: 20.01.2021).
10. Новеллы законодательства о рынке ценных бумаг. 2020. URL: <https://zen.yandex.ru/media/bosfera/novelly-zakonodatelstva-o-rynke-cennyh-bumag--2020-5f0d6bc8a04d3b2748eea0ca> (дата обращения: 20.01.2021).
11. Простобанк Консалтинг. Средний и малый бизнес Китая - история формирования. URL: https://www.prostobiz.ua/biznes/razvitie_biznesa/stati/sredniy_i_malyu_biznes_kitaya_istoriya_formirovaniya. (дата обращения: 22.01.2021).
12. РИАрейтинг. Обзор ситуации в российском банковском секторе в сентябре 2020 года. URL: <https://riarating.ru/finance/20201030/630189918/Obzor-situatsii-v-rossiyskom-bankovskom-sektore-v-sentyabre-2020-goda.html> (дата обращения: 20.01.2021).
13. Росконгресс. Краткое описание российского рынка облигаций. URL: <http://185.41.112.45/materials/kratkoe-opisanie-rossiyskogo-rynka-obligatsiy/> (дата обращения: 20.01.2021).
14. Савченко Е.О. 2013. Малый и средний бизнес Великобритании: политика правительства и специфика деятельности. Гуманитарные науки. Вестник финансового университета, 4 (12): 30–35.
15. Сбербанк. Как государство поддерживает малый бизнес. URL: https://www.sberbank.ru/ru/s_m_business/pro_business/gosudarstvennaja-podderzhka-malogo-i-srednego-biznesa-v-2020/ (дата обращения: 20.01.2021).
16. Федеральный закон "О рынке ценных бумаг". URL: <http://base.garant.ru/10106464/> (дата обращения: 19.01.2021).
17. Финк Т.А. 2012. Малый и средний бизнес: зарубежный опыт развития Молодой ученый. 4 (39): 177–181.
18. Aldasoro I., Ehlers T. 2018. Global Liquidity: Changing Instrument and Currency Patterns. BIS Quarterly Review, September, 17–27.
19. Bank for International Settlements. 2021. Global liquidity: selected indicators. URL: <http://www.bis.org/statistics/gli.htm> (дата обращения: 19.01.2021).
20. Celik S., Demirtaş G., Isaksson M. 2019. Corporate Bond Markets in a Time of Unconventional Monetary Policy, OECD Capital Market Series, Paris. Available at: www.oecd.org/corporate/Corporate-Bond-Markets-in-a-Time-of-Unconventional-Monetary-Policy.htm. (accessed: 15.02.2020).
21. Cerutti E., Claessens S., Ratnovski L. 2017. Global liquidity and drivers of cross-border bank flows. Economic Policy, 32 (89): 81–125.
22. Elsaify A., Roussanov N. 2016. Why do Firms Issue Callable Bonds? Working Paper. Available at: https://repository.upenn.edu/fnce_papers/5. (accessed: 10.02.2020).
23. Greenwood R., Hanson S.G. 2013. Issuer Quality and Corporate Bond Returns. Review of Financial Studies, 26 (6): 1483–1525.

References

1. Analytical Credit Rating Agency (ACRA). Brief description of the Russian bond market. URL: <https://www.acra-ratings.ru/research/1119> (accessed: 20.01.2021).
2. Bank of Russia. Corporate bonds: a memo to the issuer. URL: https://invest-in-ural.ru/upload/Pamyatka_emitentu.pdf (accessed: 19.01.2021).
3. Zenkina E.V. 2020. In search of new tools to stimulate economic development. Innovation and Investment, 5: 38–41.

4. Cbonds Financial Information Agency. URL: <https://cbonds.ru/news/1309851/> (accessed: 20.01.2021).
5. Malinina E.V. 2010. Enhancing the system of protection of national interests in financial sphere. Bulletin of the Russian State Humanitarian University. Series: Economics. Control. Right, 6 (49): 31–40.
6. Malinina E.V. 2009. National policy effectiveness under financial globalization: currency aspect. Bulletin of the Russian State Humanitarian University. Series: Economics. Control. Right, 3: 228–236.
7. Malinina E.V. 2011. The role of capitalization in the modern world economy. Finance and Credit, 13(445): 63–66.
8. The world economy. 2019. Yu.A. Shcherbanin, E.V. Zenkina, P.I. Tolmachev, V.M. Gribanich, A.V. Drynochkin, E.V. Korolev, V.M. Kutovoy, B.B. Loginov. Moscow: Unity-Dana Publishing House, 503.
9. The Moscow exchange. News and press releases URL: <https://www.moex.com/n31494/?nt=106> (accessed: 20.01.2021).
10. Novelties of the legislation on the securities market. 2020. URL: <https://zen.yandex.ru/media/bosfera/novelly-zakonodatelstva-o-rynke-cennyh-bumag--2020-5f0d6bc8a04d3b2748eea0ca> (accessed: 20.01.2021).
11. Prostobank Consulting. China's medium and small businesses - a history of formation. URL: https://www.prostobiz.ua/biznes/razvitie_biznesa/stati/sredniy_i_malyy_biznes_kitaya_istoriya_formirovaniya. (accessed: 22.01.2021).
12. RIA rating. Review of the situation in the Russian banking sector in September 2020. URL: <https://riarating.ru/finance/20201030/630189918/Obzor-situatsii-v-rossiyskom-bankovskom-sektore-v-sentyabre-2020-goda.html> (accessed: 20.01.2021).
13. Roscongress. Brief description of the Russian bond market. URL: <http://185.41.112.45/materials/kratkoe-opisanie-rossiyskogo-rynka-obligatsiy/> (accessed: 20.01.2021).
14. Savchenko E. O. 2013. Small and medium-sized businesses in the UK: Government policy and business specifics. Humanities. Bulletin of the Financial University, 4 (12): 30–35.
15. Sberbank. How the state supports small businesses. URL: https://www.sberbank.ru/ru/s_m_business/pro_business/gosudarstvennaja-podderzhka-malogo-i-srednego-biznesa-v-2020/ (accessed: 20.01.2021).
16. Federal Law "On the Securities Market". URL: <http://base.garant.ru/10106464/> (accessed: 19.01.2021).
17. Fink T. A. 2012. Small and medium-sized businesses: foreign experience of development Young scientist. 4 (39): 177–181.
18. Aldasoro I., Ehlers T. 2018. Global Liquidity: Changing Instrument and Currency Patterns. BIS Quarterly Review, September, 17–27.
19. Bank for International Settlements. 2021. Global liquidity: selected indicators. URL: <http://www.bis.org/statistics/gli.htm> (дата обращения: 19.01.2021).
20. Celik S., Demirtaş G., Isaksson M. 2019. Corporate Bond Markets in a Time of Unconventional Monetary Policy, OECD Capital Market Series, Paris. Available at: www.oecd.org/corporate/Corporate-Bond-Markets-in-a-Time-of-Unconventional-Monetary-Policy.htm. (accessed: 15.02.2020).
21. Cerutti E., Claessens S., Ratnovski L. 2017. Global liquidity and drivers of cross-border bank flows. Economic Policy, 32 (89): 81–125.
22. Elsaify A., Roussanov N. 2016. Why do Firms Issue Callable Bonds? Working Paper. Available at: https://repository.upenn.edu/fnce_papers/5. (accessed: 10.02.2020).
23. Greenwood R., Hanson S.G. 2013. Issuer Quality and Corporate Bond Returns. Review of Financial Studies, 26 (6): 1483–1525.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Зенкина Елена Вячеславовна, доктор экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Центра международной макроэкономики и внешнеэкономических связей ФГБУН Институт экономики Российской академии наук, Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Elena V. Zenkina, Doctor of Economics, Associate Professor, Senior Researcher at the Center for International Macroeconomics and Foreign Economic Relations State Budgetary Institute of Economics Russian Academy of Sciences (RAS), Moscow, Russia

УДК 336.648

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-89-99

Определение оптимальных условий банковско-государственного финансирования промышленных предприятий

Полетаева В.М., Смулов А.М.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Россия, 101000, Москва, ул. Мясницкая, 20
Православный Свято-Тихоновский гуманитарный университет,
Россия, 115184, г. Москва, ул. Новокузнецкая, 23-5А
Email: poletaeva_vladislava@mail.ru, jeger@bk.ru

Аннотация. Целью настоящей работы является выработка метода определения условий финансирования промышленного предприятия банками и государством, которые обеспечат, с одной стороны, эффективное функционирование компании-заемщика, а, с другой стороны, своевременное исполнение ею обязательств перед кредиторами. Идея метода базируется на принципах концепции стейкхолдинга. В статье определяются основные стейкхолдеры ключевых участников проекта финансирования предприятий обрабатывающей промышленности – банка, государства и промышленной компании – и их интересы. Для достижения поставленной цели авторами осуществляется формулировка имитационной экономико-математической модели, описывающей производственный цикл предприятия и порядок финансирования его деятельности. Работа базируется на исследованиях ведущих российских и зарубежных ученых-экономистов по вопросам функционирования российской промышленности, финансов, банковского дела, теории стейкхолдинга, при подготовке настоящей статьи также использованы статистические данные Росстат.

Ключевые слова: экономика устойчивого промышленного роста, банк, государство, предприятие обрабатывающей промышленности, стейкхолдер, механизм.

Для цитирования: Полетаева В.М., Смулов А.М. 2021. Определение оптимальных условий банковско-государственного финансирования промышленных предприятий. Экономика. Информатика, 48 (1): 89–99. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-89-99.

Stipulation optimal conditions of manufacturing companies bank and government financing

Vladislava M. Poletaeva, Alexey M. Smulov

National Research University Higher School of Economics
20 Myasnickaya St, Moscow, 101000, Russia
The Saint-Tikhon Orthodox University
23-5A Novokuznetskaya St, Moscow, 115184, Russia
Email: poletaeva_vladislava@mail.ru, jeger@bk.ru

Abstract. The manuscript aims to develop the method that stipulate optimal conditions of manufacturing company financing by bank and government, which will secure, from the one hand, company's-borrower effective operation and, from the other hand, timely fulfillment its obligations to creditors. The idea of the method is based on the stakeholder concept principles. The following manuscript analysis main stakeholders of key participants of project of manufacturing company financing – bank, government and manufacturing company – and their interests. To end the purpose of the manuscript, authors develop simulation economic-and –mathematic model that defines company's manufacturing cycle and procedure of its activity financing. The manuscript is based on the researches of leading Russian and foreign scientists (economists) in the field of Russian manufacturing industry performance, finance, banking, stakeholder theory, while preparing the study authors have also used Rosstat's statistical data.

Key words: economic system of sustainable industrial growth, bank, government, manufacturing company, stakeholder, mechanism.

For citation: Poletaeva V.M., Smulov A.M. 2021. Stipulation optimal conditions of manufacturing companies bank and government financing. Economics. Information technologies, 48 (1): 89–99 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-89-99.

Введение

Развитие российской хозяйственной системы в настоящее время сопряжено с наличием ряда проблем, к числу которых, в частности, относятся преобладание в валовой добавленной стоимости доли продукции добывающих производств и сферы услуг в условиях недостаточной развитости обрабатывающих отраслей; существенное устаревание материально-технической и технологической баз российской промышленности; высокий уровень (в последние годы признаваемые государством высокие риски увеличения уровня) официальной инфляции; подтвержденные статистическими данными значительные дифференциации населения по доходам и уровень бедности [Полетаева, Смулов, 2019б]. Указанные проблемы препятствуют трансформации национальной хозяйственной системы от характеризующейся относительно низкими темпами роста и их существенной неустойчивостью экспортно-ориентированной модели к модели устойчивого промышленного роста [Полетаева, Смулов, 2019а].

Современные ученые [Аганбегян и др., 2014; Львов и др., 2001; Смулов, 2009] выделяют два основных вида механизмов формирования экономики устойчивого промышленного роста – финансовые и нефинансовые. При этом сторонники использования нефинансовых механизмов приходят к выводу, что их эффективная реализация невозможна без активизации притока в экономику инвестиций. Так, по оценкам исследователей, только на технологическое перевооружение национальной экономики потребуется дополнительно к осуществляющимся вложениям около 2,0–2,5 трлн руб. в год в течение 10–15 лет [Аганбегян и др., 2014].

Официальные статистические данные свидетельствуют, что на протяжении уже более двадцати лет вложения в российские предприятия финансируются преимущественно за счет собственных средств этих компаний. При этом доля данного источника в структуре инвестиций в основные фонды продолжает увеличиваться. Так, если в 2014 г. значение указанного показателя составляло 45,7 %, то в 2019 г. – уже 55,1 % [Сайт Федеральной службы государственной статистики, 2019]. При наличии некоторых преимуществ, самофинансирование обладает рядом существенных недостатков, к числу которых, в частности, относятся: 1) значительная ограниченность инвестиционных возможностей; 2) порой нерациональное изъятие из хозяйственного оборота предприятия определенной части денежных фондов; 3) отсутствие независимого контроля над эффективностью инвестирования; либо наличие значительного временного лага между инвестированием и проведением независимого контроля. В связи с этим весьма актуальной представляется задача по наращиванию объема финансирования российской экономики, в частности, компаний обрабатывающих производств, за счет привлеченных источников, прежде всего, средств банковского сектора и государства. При этом важнейшим условием эффективной реализации подобных проектов, на наш взгляд, является кредитование промышленных предприятий на условиях, отвечающих интересам как лиц, предоставляющих ресурсы, так и их получателей.

Обзор научной литературы по исследуемой проблематике

В работах Р. Брилли [Brealey et al., 2011], Ц. Джеймса [James, 1987], Д. Дианонда [Diapond, 1984], С. Кинга [King, 1986], Ц. Сили [Sealey, Lindeley, 1977] И. Фишера [Fisher, 1980] и ряда других ученых рассмотрены функции банков, в том числе, в сфере кредитно-инвестиционной деятельности, к которым относятся: финансовое посредничество между хозяйствующими субъектами, разработка финансовых продуктов и услуг, генерирование роста

экономики, делегированный контроль деятельности заемщиков, рacionamento между потреблением и сбережением клиентов.

В свою очередь, исследованию роли в экономике (в частности, в ее финансировании) государства посвящены труды ученых – представителей классической политэкономии (классической школы), неоклассического направления экономической мысли (школы монетаризма и «экономики предложения»), а также Дж.М. Кейнса и его последователей-неокейнсианцев [Малкина, 2016]. По мнению ученых-экономистов классической школы, в основе хозяйственных процессов в обществе лежит рыночный механизм, который способен обеспечить равновесие в экономике, а роль государства в данном случае должна быть существенно ограничена. Аналогичного мнения придерживаются и представители неоклассического направления. В то же время Дж.М. Кейнс и его последователи исходят из идеи неспособности рыночного механизма обеспечить равновесие спроса и предложения на продукцию и полную занятость в экономике, ввиду того, что совокупный спрос всегда ниже совокупного предложения, так как население склонно сберегать часть доходов. Поэтому кейнсианский подход базируется на формировании государством эффективного спроса на продукцию посредством инструментов финансового регулирования.

В целях определения интересов лиц, предоставляющих ресурсы, а также получателей финансирования следует идентифицировать основных стейкхолдеров указанных хозяйствующих субъектов и выявить их интересы. Вопросы идентификации заинтересованных сторон тех или иных экономических агентов исследовались такими учеными, как Б. Корнелл [Cornell, Shapiro, 1987], Р. Митчелл [Mitchell et al., 1997], Р. Торелли [Torelli et al., 2019] Э. Фримен [Freeman, Reed, 1983; Freeman, Moutchnik, 2013], Ц. Хилл [Hill, Jones, 1992.] и многими другими. В частности, Р. Митчеллом в работе [Mitchell et al., 1997] представлена модель оценки значимости, согласно которой каждый стейкхолдер характеризуется следующими тремя свойствами: легитимность, власть и срочность. Согласно модели Митчелла заинтересованные стороны подразделяются на 7 групп, обладающих: 1) только властью (латентные); 2) только легитимностью (независимые); 3) только срочностью (требующие); 4) властью и легитимностью (доминирующие); 5) властью и срочностью (опасные); 6) легитимностью и срочностью (зависимые); 7) властью, легитимностью и срочностью (определяющие). Наиболее значимыми для предприятия (организации) являются стейкхолдеры, обладающие всеми тремя свойствами и относящиеся к группе определяющих.

Для выработки метода определения оптимальных с точки зрения обеспечения роста выручки и прибыли компаний обрабатывающих производств, а также своевременного и в полном объеме возврата ими полученного финансирования, условий их кредитования, могут быть использованы динамические экономико-математические модели, в частности, имитационная динамическая модель компании обрабатывающих производств, разработанная в ЦЭМИ РАН [Багриновский, Егорова, 1980].

Результаты и их обсуждение

На основании изучения содержания перечисленных выше функций кредитных организаций может быть сделан вывод о преимуществах использования банковского кредитования в качестве источника финансирования инвестиционных вложений в предприятия обрабатывающей промышленности. Эти преимущества обусловлены специализацией кредитных организаций на предоставлении средств на условиях срочности, возвратности, платности и иных принципах кредитования. Кредитные организации могут отобрать наиболее эффективные инвестиционные проекты; оценить платежеспособную потребность компаний в ресурсах; определить условия кредитования, приемлемые как с точки зрения обеспечения развития заемщиков, так и полного и своевременного возврата ими привлеченных средств; осуществить мониторинг целевого использования полученного финансирования.

Однако в силу ряда причин российский банковский сектор не заинтересован в существенном наращивании объема вложений в отрасли обрабатывающей промышленности. Так, согласно официальным статистическим данным (Сайт Федеральной службы государствен-

ной статистики, 2020) доля инвестиций в основные фонды, финансируемые посредством банковских кредитов в течение последних шести лет, не превышала 11,2 % общего объема инвестиционных вложений в основные фонды, что существенно ниже, чем во многих других странах с развитыми и развивающимися экономиками. Например, значение указанного показателя в США и Германии составляет 30–50 %, в Китае – около 20 % и т. д. [Аганбегян и др., 2014]. К числу таких причин, в частности, относятся: повышенные риски кредитования, остающиеся десятилетиями в связи с отсутствием реальных улучшений в состоянии российской экономики; низкое значение банковской депозитно-кредитной маржи с учетом инфляции; наличие альтернативных инструментов инвестирования средств.

Учитывая отмеченные выше преимущества использования банковского кредитования для финансирования вложений в экономику, обеспечение роста заинтересованности кредитных организаций в наращивании объема инвестиций в обрабатывающие производства является весьма актуальной задачей. На наш взгляд, ее решение требует определения лица, заинтересованного одновременно в трансформации национальной хозяйственной системы к модели устойчивого промышленного роста и развитии банковского сектора, способного обеспечить условия финансирования, отвечающие потребностям как кредитных организаций, так и предприятий обрабатывающей промышленности. Таким лицом является государство в силу возложенных на него функций.

В целях определения потребностей банков и компаний обрабатывающих производств далее в работе приведены результаты идентификации определяющих стейкхолдеров указанных хозяйствующих субъектов посредством использования модели Р. Митчелла, а также интересов этих стейкхолдеров.

Среди всего многообразия заинтересованных сторон, как банка, так и предприятия обрабатывающей промышленности к числу определяющих, на наш взгляд, относятся их владельцы, управляющие, а также государство. Рассмотрим более подробно интересы указанных стейкхолдеров.

Собственники – это физические или юридические лица, которым принадлежит капитал компаний. В сферу их компетенции входит решение наиболее важных вопросов в деятельности учрежденных банков и промышленных предприятий. В силу своего статуса владельцы располагают властными полномочиями, обеспечивающими реализацию принятых ими решений, эти решения, как правило, носят легитимный характер и подлежат исполнению в течение определенного срока.

Стратегические интересы собственников заключаются, в частности, в увеличении стоимости бизнеса, повышении конкурентоспособности кредитных организаций и предприятий, поддержании их положительной деловой репутации и пр. К числу важнейших интересов тактического характера относится рост прибыли. Это объясняется тем, что именно за счет прибыли осуществляется финансирование затрат на развитие компаний, а также выплата дивидендов или иных доходов собственникам. Кроме того, владельцы обычно заинтересованы в обеспечении приемлемого уровня рисков операций, наращивании объемов деятельности компаний и т. д.

Управляющие – это, как правило, физические лица, являющиеся наемными работниками, осуществляющие руководство компаниями в целом или их подразделениями. Данная группа стейкхолдеров (как и собственники) в силу своего статуса обладают определенными властными полномочиями, их решения также носят легитимный характер и подлежат исполнению в течение определенного срока.

Одним из ключевых интересов управляющих выступает рост уровня их доходов, который может быть обеспечен, в частности, посредством различного рода премий, бонусов, а также повышения их заработной платы. Выплата премий и бонусов осуществляется в основном по результатам выполнения (или перевыполнения) руководителями показателей, установленных планами развития компаний, и финансируется за счет их чистой прибыли. Поэтому управляющие, так же как и собственники, могут быть заинтересованы в росте прибыли кредитных организаций (предприятий обрабатывающей промышленности), обеспечении прием-

лемого уровня рисков их операций, наращивании объемов деятельности компаний, поддержании их положительной деловой репутации, повышении конкурентоспособности и пр.

Необходимо подчеркнуть, что управляющие любого уровня могут выступать одновременно и собственниками компании. В этом случае они могут быть в большей или меньшей степени заинтересованы в росте своих доходов за счет дивидендных выплат или премий (бонусов) по результатам работы, а также использовании прибыли компании на увеличение финансирования ее деятельности.

Государство как субъект хозяйственных отношений реализует ряд функций, одной из которых выступает регулирование различных процессов в социально-экономической сфере. В силу этого государство в лице уполномоченных органов осуществляет воздействие на компании, используя для этого различные инструменты. Так, например, кредитные организации должны выполнять ряд обязательных нормативов, осуществлять операции в соответствии с предписаниями регулирующего органа и т. д. Государство также регламентирует различные стороны функционирования предприятий обрабатывающей промышленности, например, посредством установления правил ведения той или иной деятельности. Кроме того, компаниям необходимо перечислять налоги и иные обязательные платежи в пользу бюджетной системы РФ и внебюджетных фондов. Рассмотренные требования определены нормативно-правовыми документами и в полной мере носят легитимный характер, и также являются срочными.

Перечень интересов государства в данном случае достаточно разнообразен – повышение устойчивости и эффективности деятельности банков и промышленных предприятий, снижение рисков их операций, обеспечение притока в бюджетную систему и внебюджетные фонды налоговых доходов и др.

Помимо этого, государство в лице своих уполномоченных органов может выступать собственником кредитных организаций и предприятий, а также вкладчиком, кредитором или иного рода инвестором таких компаний, имея при этом соответствующие интересы.

Очевидно, что реализуя интересы рассмотренных стейкхолдеров, и банки, и предприятия обрабатывающей промышленности будут стремиться увеличивать стоимость бизнеса, наращивать объем получаемой ими прибыли, обеспечивать приемлемый уровень рисков операций, поддерживать положительную деловую репутацию своих компаний, повышать их конкурентоспособность, соблюдать нормативные и иные требования государства и т. д. Квалифицированное формирование условий проекта инвестирования ресурсов, с учетом перечисленных интересов, как кредитных организаций, так и промышленных предприятий, по мнению авторов, способно стимулировать приток банковских вложений в обрабатывающие производства и одновременно повысить доступность ресурсов для получателей.

В то же время рост стоимости бизнеса, повышение конкурентоспособности компаний, формирование их положительной деловой репутации относятся к стратегическим интересам банков и предприятий обрабатывающих производств. Их достижение зависит от значительного количества факторов, которые невозможно учесть при определении условий финансирования компаний. Поэтому авторами рассматриваются, прежде всего, потребности тактического характера, то есть рост прибыли компаний, наращивание объемов их деятельности, поддержание рисков на приемлемом уровне, соблюдение требований регулирующих органов. При этом обеспечение потребностей тактического характера, на наш взгляд, в значительной мере способствует и достижению стратегических интересов банков и предприятий обрабатывающей промышленности.

Определение условий финансирования предприятия банками и государством, отвечающего интересам указанных выше стейкхолдеров банка и промышленной компании, осуществлено посредством построения имитационной модели, описывающей деятельность предприятия обрабатывающих производств, позволяющей установить условия кредитования, при которых наблюдается рост выручки этого предприятия, а также обеспечивающие своевременное и в полном объеме исполнение им обязательств перед кредиторами.

Однако прежде чем приступить к разработке собственно модели необходимо решить две важные задачи: во-первых, определить правила установления для промышленной компании процентной ставки по банковско-государственным кредитам, а, во-вторых, произвести оценку основных условий предоставления и возврата кредитного финансирования.

При определении величины процентной ставки необходимо, в первую очередь, учитывать значение рентабельности проданной продукции промышленной компании-заемщика. Это объясняется тем, что рентабельность проданной продукции выступает одним из важнейших показателей, характеризующих эффективность функционирования предприятия. При этом в свете решения задачи по наращиванию доходов получателя банковско-государственных ресурсов и трансформации экономики к модели устойчивого промышленного роста, целесообразно устанавливать ставку по кредиту на уровне не выше величины рентабельности проданной продукции (как минимум), а целесообразнее на уровне «рентабельность проданной продукции минус 2–3 %», а для компаний со значением указанного показателя ниже 2 % – на уровне 0 %.

Решение второй задачи может быть осуществлено посредством использования положений теории рентных платежей. При этом сумма платежей по предоставлению финансирования должна быть не меньше величины, определенной заранее на основании анализа кредитной заявки и иных документов, входящих в досье заемщика и требуемой предприятию обрабатывающей промышленности в конкретный временной интервал. В то же время размер платежей по возврату кредита может быть не больше допустимого значения изъятия средств с точки зрения решения задачи по обеспечению роста доходов компании-заемщика, а также полного и своевременного исполнения ею обязательств перед кредиторами.

В рамках предлагаемой авторами модели динамика развития предприятия обрабатывающей промышленности описывается на основе соотношений дискретного типа, характеризующих его производственную деятельность. В основе модели лежит схема функционирования компании с прямыми и обратными связями, на входе которой находятся параметры, определяющие объем производственных ресурсов (материальных, трудовых и т. д.), на выходе – параметры выпускаемой продукции.

Задана производственная функция типа Леонтьева (Р. Стоуна) (1):

$$P = \max \{FA/fa; CA/ca; L/l\}, \quad (1)$$

где:

FA – основные фонды (в денежном выражении);

CA – оборотный капитал (в денежном выражении);

L – труд (в денежном выражении);

fa, ca, l – нормы использования соответствующих ресурсов (производственных факторов) (в денежном выражении);

P – выпуск продукции в натуральном выражении.

Функция затрат компании обрабатывающих производств имеет следующий вид (2):

$$C = (fa + ca + l + s)P, \quad (2)$$

где:

C – затраты промышленной компании;

s – прочие (постоянные и переменные) затраты промышленной компании, связанные с ее производственной деятельностью;

Финансирование затрат на приобретение (модернизацию) производственных факторов осуществляется следующим образом (3):

$$\begin{aligned} \Delta FA &= \xi_1 OF, \\ \Delta CA &= \xi_2 OF, \\ \Delta L &= \xi_3 OF, \\ FA' &= FA + \Delta FA, \\ CA' &= CA + \Delta CA, \end{aligned} \quad (3)$$

$$L' = L + \Delta L,$$

где:

OF – собственные средства предприятия обрабатывающей промышленности, которые могут быть направлены на финансирование его производственной деятельности. Интерпретация указанной величины приведена ниже;

$0 \leq \xi_1, \xi_2, \xi_3 \leq 1, \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 = 1$ – коэффициенты, определяющие доли распределения собственных средств промышленной компании на финансирование прироста производственных факторов;

$\Delta FA, \Delta CA, \Delta L$ – прирост производственных факторов – основные фонды, оборотный капитал, труд;

FA', CA', L' – значения рассматриваемых производственных факторов в новом цикле производства.

Величина OF рассчитывается следующим образом (4):

$$OF = E - C - \Omega + OOF, \quad (4)$$

E – выручка промышленной компании;

Ω – иные денежные потоки, предприятия обрабатывающей промышленности, уменьшающие величину его выручки, в частности, сумма уплачиваемого им налога на прибыль;

OOF – прочие имеющиеся в распоряжении промышленной компании собственные средства.

Задана функция выручки предприятия обрабатывающей промышленности (5):

$$E = \max qP, \quad (5)$$

где:

q – цена на продукцию.

При этом объем выпущенной рассматриваемым предприятием продукции в денежном выражении не должен превышать уровень платежеспособного спроса на эту продукцию (6):

$$Pq \leq Q, \quad (6)$$

где:

Q – спрос на продукцию предприятия обрабатывающей промышленности (в денежном выражении).

Описанная соотношениями (1)–(6) статическая имитационная модель функционирования промышленной компании может быть преобразована в динамическую посредством введения индекса t , характеризующего временной цикл производства для каждой ее переменной. При этом соотношения (3), являющиеся собственно уравнениями динамики, принимают следующий вид (7):

$$\begin{aligned} FA(t) &= FA(t-1) + \xi_1 OF(t-1), \\ CA(t) &= CA(t-1) + \xi_2 OF(t-1), \\ L(t) &= L(t-1) + \xi_3 OF(t-1) \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, при задании параметров указанной модели может быть определен объем выручки предприятия обрабатывающей промышленности, а также его затрат на производственные факторы. При этом необходимо задавать следующие параметры: 1) переменные, характеризующие состояние анализируемого предприятия к началу производственного цикла; 2) ряд констант; 3) управляющие переменные: экзогенные и эндогенные.

Следует отметить, что представленный вариант модели является упрощенным описанием производственной деятельности промышленной компании. Так, во-первых, он соответствует монопродуктовому типу производства. В ситуации выпуска предприятием нескольких видов продукции в модель необходимо дополнительно встраивать блок соотношений, определяющих оптимальное, с точки зрения максимизации выручки, сочетание этих видов про-

дукции. Во-вторых, в рамках рассматриваемого варианта модели не учитывается возможность привлечения для финансирования деятельности предприятия обрабатывающей промышленности средств из внешних источников, в том числе кредитов банков или государства, а также выбытие его основных фондов.

Модификация имитационной модели с учетом использования ресурсов из внешних источников, а также выбытия основных фондов может быть представлена следующим образом (8):

$$\begin{aligned}
 Cr(t) &= (D(t-1) + I(t-1)) + Crreq(t_n) - Clim(t_k), \\
 P(t) &= \max \{FA_t/fa; CA_t/ca; Lt/l, \\
 C(t) &= (fa + ca + l + s)P(t) + Clim(t_k), \\
 FA(t) &= (1 - rb)FA(t-1) + \xi_1 OF(t-1) + \mu_1 Crreq(t_n), \\
 CA(t) &= CA(t-1) + \xi_2 OF(t-1) + \mu_2 Crreq(t_n), \\
 L(t) &= L(t-1) + \xi_3 OF(t-1) + \mu_3 Crreq(t_n), \\
 E(t) &= \max qP(t), \\
 P(t)q &\leq Q(t), \\
 OF(t) &= E(t) - C(t) - \Omega(t) + OOF(t)
 \end{aligned} \tag{8}$$

где:

$0 \leq \mu_1, \mu_2, \mu_3 \leq 1, \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 = 1$ – коэффициенты, определяющие доли распределения кредитов банка и уполномоченного государственного института на финансирование прироста производственных факторов.

Таким образом, представленная модификация модели функционирования промышленной компании состоит в следующем:

1. вводится функция, характеризующая остаток ссудной задолженности по кредитам банка и уполномоченного государственного института за определенный период времени (9):

$$Cr(t) = (D(t-1) + I(t-1)) + Crreq(t_n) - Clim(t), \tag{9}$$

где:

$Cr(t)$ – сумма непогашенной ссудной задолженности в конкретный период времени t , которая включает: сумму накопленного на конец предыдущего периода основного долга – $D(t-1)$ и начисленных на него, но неуплаченных процентов – $I(t-1)$, величину кредита, требуемую предприятию обрабатывающей промышленности на начало периода $t - Cr^{req}(t_n)$, уменьшенные на сумму затрат промышленной компании на погашение основного долга и процентов в период t (на конец периода) – $Clim(t_k)$.

2. величина расходов предприятия обрабатывающей промышленности увеличивается на сумму платежа в счет погашения ссудной задолженности за конкретный период времени t , допустимую с точки зрения решения задачи по обеспечению роста доходов предприятия-заемщика, а также полного и своевременного исполнения им обязательств перед кредиторами, осуществляемого в конце периода $t - Clim(t_k)$. Она включает платеж в счет погашения основного долга $Clim(D)(t_k)$ и процентов $Clim(I)(t_k)$. При этом допустимая величина в счет погашения долговых обязательств $Clim(t_k)$ определяется следующим соотношением (10):

$$Clim(t_k) = Clim(D)(t_k) + Clim(I)(t_k). \tag{10}$$

3. изменяются уравнения, характеризующие вложения промышленной компании и в основные фонды, оборотный капитал, трудовые ресурсы:

$$\begin{aligned}
 FA(t) &= (1 - rb)FA(t-1) + \xi_1 OF(t-1) + \mu_1 Crreq(t), \\
 CA(t) &= CA(t-1) + \xi_2 OF(t-1) + \mu_2 Crreq(t), \\
 L(t) &= L(t-1) + \xi_3 OF(t-1) + \mu_3 Crreq(t),
 \end{aligned} \tag{12}$$

где:

rb – коэффициент выбытия основных фондов, который принимается постоянным: $rb = const$.

Следует отметить, что потребности предприятия обрабатывающей промышленности как в объеме финансирования, так и в условиях его предоставления могут измениться в результате негативного воздействия ряда факторов (государственной экономической политики, нестабильности экономической ситуации в стране), что потребует пересмотра полученного изначально решения. При этом, если в силу каких-либо обстоятельств такой пересмотр произведен не будет, либо он будет произведен несвоевременно, предприятие-заемщик может оказаться неспособным исполнить свои обязательства перед кредиторами, а ссудная задолженность перейдет в состав проблемной.

Заключение

Проведенное авторами исследование позволяет сформулировать следующие выводы:

1. развитие российской экономики на современном этапе сопряжено с наличием проблем, препятствующих ее трансформации от экспортно-сырьевой модели к модели устойчивого промышленного роста. По мнению авторов, согласном с мнением ведущих российских ученых, их преодолению может способствовать наращивание объема инвестиций, прежде всего, в обрабатывающие производства. При этом в силу ряда выявленных преимуществ целесообразно использовать для решения рассматриваемой задачи кредиты банков и государства, а условия финансирования формировать в соответствии с интересами ключевых участвующих сторон – кредиторов и заемщика;

2. посредством использования модели Р.К. Митчелла выявлены определяющие стейкхолдеры банка-кредитора и промышленного предприятия-заемщика, а также оценены их интересы. Такими стейкхолдерами кредитной организации и предприятия обрабатывающей промышленности являются государство, собственники и управляющие, а их интересами, которые необходимо учитывать при установлении условий финансирования: рост прибыли указанных хозяйствующих субъектов, наращивание объемов их деятельности, поддержание рисков на приемлемом уровне, соблюдение требований регулирующих органов;

3. в целях определения условий предоставления предприятию обрабатывающих производств ресурсов, отвечающих его потребностям, а также обеспечивающих своевременное и в полном объеме исполнение им обязательств перед кредиторами, авторами сформулирована имитационная модель, описывающая динамику развития промышленной компании на основе соотношений дискретного типа.

Список источников

1. Сайт Федеральной службы государственной статистики. 2019. URL: <https://www.gks.ru/> (дата обращения: 15 октября 2019).

Список литературы

1. Аганбегян А.Г., Клеева Л.П., Кротова Н.А., Куприянов Л.И., Мерзлякова С.Г., Мотова А.А., Панюков А.Ю. 2014. Направления промышленной политики России на перспективу. М., РАНХИГС, С. 83.

2. Багриновский К.А., Егорова Н.Е. 1980. Имитационные системы в планировании экономических объектов. М., Наука, С. 237.

3. Львов Д.С., Гребенников В.Т., Устюжанина Е.В. 2001. Концепция национального имущества. Вопросы экономики, 7: 139–153.

4. Малкина М.Ю. 2016. История экономических учений. Краткий курс. НН., Нижегородский госуниверситет, С.67.

5. Полетаева В.М., Смулов А.М. 2019. Об экономике устойчивого промышленного роста. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика, 46 (2), 205–213.

6. Полетаева В.М., Смулов А.М. 2019. Проблемы перехода экономики России к модели устойчивого промышленного роста. Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право, 29 (2): 152–160.

7. Смулов А.М. 2009. Промышленные и банковские фирмы: взаимодействие и разрешение

кризисных ситуаций. М. Финансы и статистика, С. 496.

8. Brealey R., Myer, S., Allen F. 2011. Principles of Corporate finance. N.Y., The McGraw-Hill/Irwin: 969.

9. Cornell B., Shapiro A.C. 1987. Corporate stakeholders and corporate finance. *Financial Management*, 16 (1): 5–14.

10. Diamond D.W. 1984. Financial intermediation and delegated monitoring. *Review of Economic Studies*, 51 (3): 393–414.

11. Fisher I. 1980. The theory of interest. N.Y., The Macmillan Company.

12. Freeman R.E.; Moutchnik A. 2013. Stakeholder management and CSR: questions and answers. *UmweltWirtschaftsForum*, 21 (1): 5–9.

13. Freeman R.E., Reed D.L. 1983 (Retrieved in 2017). Stockholders and stakeholders: A new perspective on corporate governance. *California Management Review*, 25 (3): 88–106.

14. Hill C.W.L., Jones T.M. 1992. Stakeholder-agency theory. *Journal of Management Studies*, 29 (2): 131–154.

15. James C. 1987. Some evidence on the uniqueness of bank loans. *Journal of Financial Economics*, 19 (2): 217–235.

16. King S.R. 1986. Monetary transmission through bank loan or bank liabilities. *Journal of money, credit and banking*, 18 (3): 290–303.

17. Mitchell R.K., Agle B.R., Wood, D.J. 1997. Toward a theory of stakeholder identification and salience: defining the principle of who and what really counts. *The Academy of Management Review*, 22 (4): 853–886.

18. Sealey C.W., Lindeley J.T. 1977. Inputs, outputs, and theory of production and cost at depository financial institutions. *Journal of Finance*, 32 (4): 1251–1266.

19. Torelli R.; Balluchi F.; Furlotti K. 2019. The materiality assessment and stakeholder engagement. A content analysis of sustainability report. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management* (pre-print).

References

1. Aganbegyan A.G., Kleeva L.P., Krotova N.A., Kupriyanov L.I., Merzlyakova S.G., Motova A.A., Panyukov A.YU. 2014. *Napravleniya promyshlennoj politiki Rossii na perspektivu* [Main lines of perspective industrial policy in Russia]. Moscow, RANHIGS, 83. (In Russian)

2. Bagrinovskij K.A., Egorova N.E. 1980. *Napravleniya promyshlennoj politiki Rossii na perspektivu* [Simulation modeling in economic agents activity planning]. Moscow, Nauka, 237 (In Russian)

3. Lvov D.S., Grebennikov V.T., Ustyuzhanina E.V. 2001. Concept of national assets. *Voprosy Ekonomiki*, 7: 139–153. (In Russian)

4. Malkina M.YU. *Istoriya ekonomicheskikh uchenij: Kratkij kurs* [History of economic science. Condensed]. Nizhnij Novgorod, Nizhegorodskij gosuniversitet, 67 (In Russian)

5. Poletaeva V.M., Smulov A.M. 2019. On economic system of sustainable growth. *Belgorod State University Scientific Bulletin*, 46 (2): 205–213.

6. Poletaeva V.M., Smulov A.M. 2019. Problems of Russian economy transformation to the model of sustainable industrial growth. *Bulletin of Udmurt University. Series Economics and Law*, 29 (2): 152–160. (In Russian).

7. Smulov A.M. 2009. *Promyshlennye i bankovskie firmy: vzaimodejstvie i razreshenie krizisnyh situacij* [Industrial and banking companies: cooperation and crisis resolution]. Moscow, Finansy i statistika, 496. (In Russian).

8. Brealey R., Myer, S., Allen F. 2011. Principles of Corporate finance. N.Y., The McGraw-Hill/Irwin: 969.

9. Cornell B., Shapiro A.C. 1987. Corporate stakeholders and corporate finance. *Financial Management*, 16 (1): 5–14.

10. Diamond D.W. 1984. Financial intermediation and delegated monitoring. *Review of Economic Studies*, 51 (3): 393–414.

11. Fisher I. 1980. The theory of interest. N.Y., The Macmillan Company.

12. Freeman R.E.; Moutchnik A. 2013. Stakeholder management and CSR: questions and answers. *UmweltWirtschaftsForum*, 21 (1): 5–9.

13. Freeman R.E., Reed D.L. 1983 (Retrieved in 2017). Stockholders and stakeholders: A new perspective on corporate governance. *California Management Review*, 25 (3): 88–106.

14. Hill C.W.L., Jones T.M. 1992. Stakeholder-agency theory. *Journal of Management Studies*, 29 (2): 131–154.
15. James C. 1987. Some evidence on the uniqueness of bank loans. *Journal of Financial Economics*, 19 (2): 217–235.
16. King S.R. 1986. Monetary transmission through bank loan or bank liabilities. *Journal of money, credit and banking*, 18 (3): 290–303.
17. Mitchell R.K., Agle B.R., Wood, D.J. 1997. Toward a theory of stakeholder identification and salience: defining the principle of who and what really counts. *The Academy of Management Review*, 22 (4): 853–886.
18. Sealey C.W., Lindeley J.T. 1977. Inputs, outputs, and theory of production and cost at depository financial institutions. *Journal of Finance*, 32 (4): 1251–1266.
19. Torelli R.; Balluchi F.; Furlotti K. 2019. The materiality assessment and stakeholder engagement. A content analysis of sustainability report. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management* (pre-print).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Полетаева Владислава Марковна, кандидат экономических наук, доцент Школы финансов Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

Смулов Алексей Михайлович, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики Православного Свято-Тихоновского гуманитарного университета, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladislava M. Poletaeva, Candidate of Economic Sciences, Assistant Professor of School of finance National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Alexey M. Smulov, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of Department of Economics, The Saint-Tikhon Orthodox University, Moscow, Russia

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 004.853

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-100-115

Реализация классификатора групп в социальных сетях с помощью рекуррентных и свёрточных нейронных сетей

Оболенский Д.М., Шевченко В.И., Ченгарь О.В., Машенко Е.Н., Соина А.С.

Севастопольский государственный университет,

Россия, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

E-mail: denismaster@outlook.com, VIShevchenko@sevsu.ru, OVChengar@sevsu.ru,

ENMaschenko@sevsu.ru, ASSoina@sevsu.ru

Аннотация. В данной статье авторы рассматривают проблему классификации сообществ в социальной сети ВКонтакте. Исследовано применение нейронных сетей для классификации групп пользователей по степени радикальности. В работе построена модель нейронной сети с рекуррентной долговременной памятью (LSTM) с использованием современных программных технологий и методологий. Результирующая модель обучается на тестовом наборе данных, а также оценивается с использованием выбранных показателей, таких как F1, точность и потери. Модель свёрточной нейронной сети также строится и оценивается. Впоследствии эти модели сравнивают между собой. Модель, основанная на свёрточных нейронных сетях, имеет более высокое значение метрик, чем модель, основанная на модели LSTM. Предлагаются методы предварительной обработки данных, а также использование фреймворка Keras для Python с бэкэндом Tensorflow для построения классификаторов нейронных сетей. Полученная в результате свёрточная сетевая модель применима к основному набору данных при поиске радикальных сообществ в социальных сетях. Проведены исследования модели и представлен анализ результатов.

Ключевые слова: социальные сети, свёрточные нейронные сети, рекуррентные нейронные сети, Python, Keras.

Для цитирования: Оболенский Д.М., Шевченко В.И., Ченгарь О.В., Машенко Е.Н., Соина А.С. 2021. Реализация классификатора групп в социальных сетях с помощью рекуррентных и свёрточных нейронных сетей. Экономика. Информатика, 48 (1): 100–115. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-100-115.

An implementation of social network group classification model based on recurrent and convolution neural networks

Denis M. Obolensky, Victoria I. Shevchenko, Olga V. Chengar,

Elena N. Maschenko, Anastasia S. Soina

Sevastopol State University, 33 Universitetskaya St, Sevastopol, 299053, Russia

E-mail: denismaster@outlook.com, VIShevchenko@sevsu.ru, OVChengar@sevsu.ru,

ENMaschenko@sevsu.ru, ASSoina@sevsu.ru

Abstract. In this article, the authors consider the problem of classifying communities in the social network VKontakte. The application of neural networks for the classification of user groups according to the degree of radicality is investigated. In the work, a model of a recurrent long short term memory (LSTM) neural network is built using modern software technologies and methodologies. The resulting model is trained on a test dataset and is also evaluated using the selected metrics, such as F1, accuracy and loss. A convolutional neural network model is also built and evaluated. Subsequently, these models are compared with each other. The model which is based on convolutional neural networks had the higher value of metrics, than one based on the LSTM model. Methods for preprocessing data, as well as using the Keras framework for Python with

Tensorflow backend for building neural network classifiers are proposed. The resulting convolutional network model is applicable to the core dataset when searching for radical communities on social networks. The research of the model is carried out and the analysis of the results is presented.

Keywords: social networks, convolutional neural networks, recurrent neural networks, Python, Keras.

For citation: Obolensky D.M., Shevchenko V.I., Chengar O.V., Maschenko E.N., Soina A.S. 2021. An implementation of social network group classification model based on recurrent and convolution neural networks. Economics. Information technologies, 48 (1): 100–115 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-100-115.

Введение

Поиск и анализ сообществ пользователей является важным инструментом изучения и анализа социальных сетей, позволяющим исследовать модульную организацию сети и использовать полученную информацию для решения различных задач [Мащенко и др., 2020]. К примеру, знания о структуре сообществ необходимы для предсказания связей и атрибутов пользователей, расчёта близости пользователей в социальном графе, оптимизации потоков данных в социальной сети, внедрения механизмов влияния на сообщества и т. д. [Мошкин, Андреев, 2019].

Автоматический анализ и классификация сообществ и групп в социальной сети позволят выявлять радикальные группы пользователей, источники конфликтов в социальных сетях, а также применять мягкие меры погашения конфликтов. В частности, в работе Мащенко и др. [Мащенко и др., 2020] показано применение поиска «радикального», «нейтрального» и «объединяющего» контента, в том числе при помощи автоматического анализа контента сообществ. Подобные данные могут быть собраны в автоматическом режиме при помощи портала «Открытые данные» [Оболенский и др., 2020]

Современные способы классификации и анализа тональностей текста применяются в основном к сообщениям пользователей [Котельников, Клековкина, 2012], в то время как не учитывается информация о самом сообществе и его тематике.

Ранее был предложен метод классификации сообществ на основе их описания и контента с помощью простых методов машинного обучения [Оболенский и др., 2020], однако данный способ использует лишь наиболее простые методы [Коусари, Хейдирисафа, 2019].

В рамках данной статьи предлагается практический способ построения классификатора групп и сообществ в социальных сетях на основе нейросетевых методов машинного обучения [Коусари, Хейдирисафа, 2019], в частности, с использованием рекуррентной сети Long-Short Term Memory (LSTM) и свёрточной сети (Convolutional Neural Network, CNN) [Смирнова, Шишков, 2016], реализуемый при помощи современных программных фреймворков, в частности Keras и Tensorflow.

Разработка и обучение классификатора на основе рекуррентной нейронной сети

LSTM был разработан для преодоления проблем простой рекуррентной сети (RNN), позволяя сети хранить данные в своего рода памяти, к которой она может получить доступ позже. LSTM – это особый тип рекуррентной нейронной сети (RNN), который может изучать долгосрочные шаблоны [Рамасундарам, 2010]

Структура сети представлена на рис. 1.

Ключевым понятием в сети LSTM является ячейка состояния. Данное состояние обновляется дважды, что в результате стабилизирует градиенты. Также существует скрытое состояние, которое действует как краткосрочная память. Это показано на рис. 2.

В структуре LSTM можно выделить Forget Gate, Input Gate, Output Gate [Zhang, 2015]. Рассмотрим их подробнее. На рис. 3 показана структура Forget Gate.

На первом этапе необходимо определить, какая информация должна быть сброшена из ячейки состояния. Для этого используется скрытый слой с сигмовидной функцией активации, который называется *Forget Gate* [Zhang, 2015].

На следующем шаге необходимо определить, какую новую информацию мы хотим сохранить в ячейке состояния. Он состоит из двух частей [Zhang, 2015].

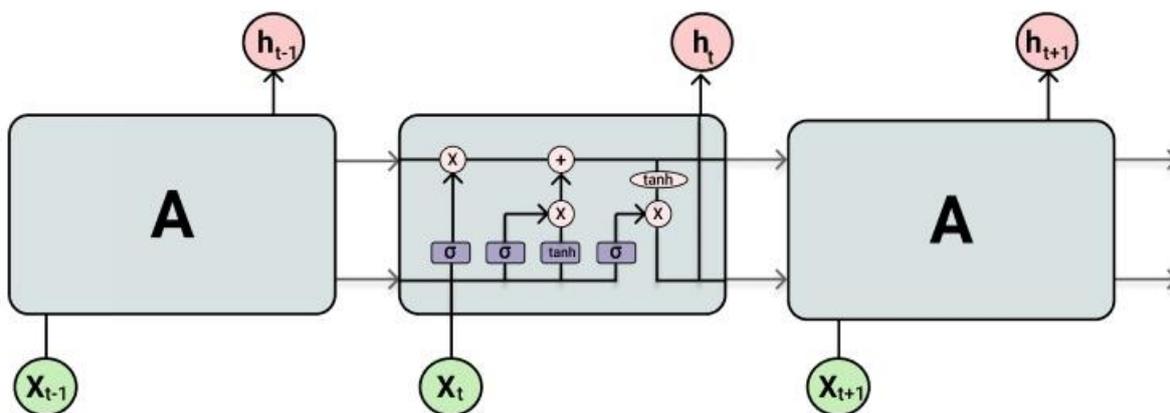


Рис. 1. Структура нейронной сети LSTM
Fig. 1. LSTM structure

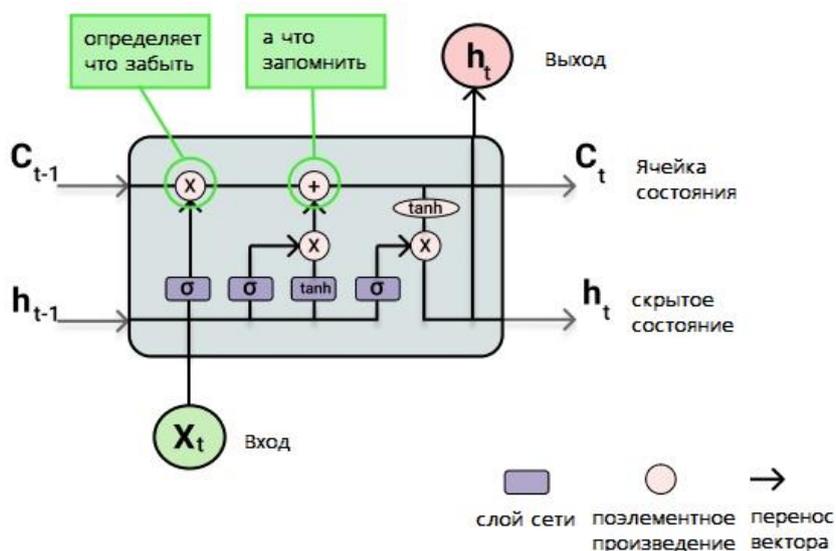


Рис. 2. Структура ячейки сети LSTM
Fig. 2. LSTM Cell structure

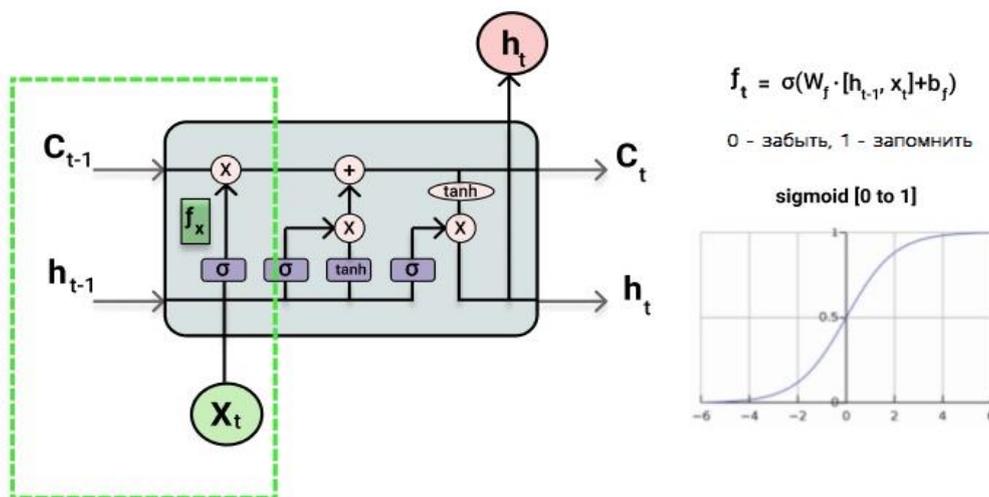
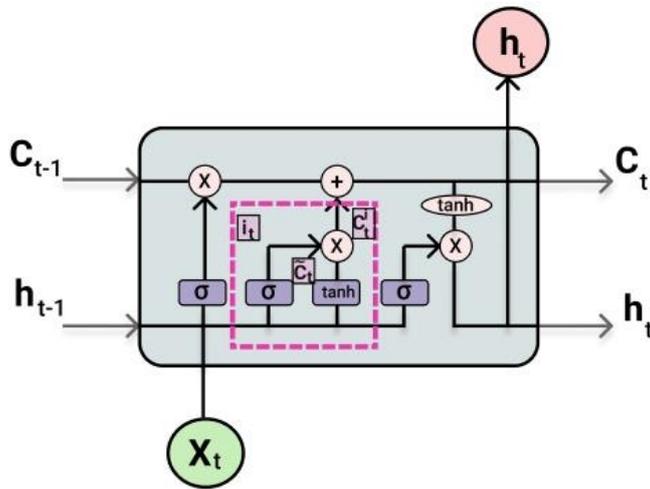


Рис. 3. Forget Gate
Fig. 3. Forget Gate

Первая часть – сигмовидный слой, называемый также *Input Gate*, он определяет, какие значения будут обновляться (рис. 4). Далее – *tanh*-слой, необходимый для расчета потенциальных значений, которые могут быть добавлены в состояние. На следующем этапе мы обновляем ячейку состояния новым значением (рис. 5).



$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i)$$

$$\bar{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c)$$

$$C_t^i = C_t^i \cdot i_t$$

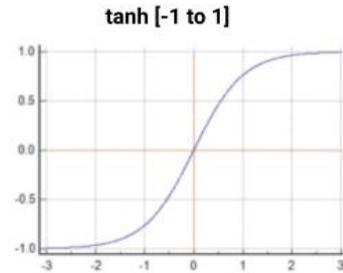
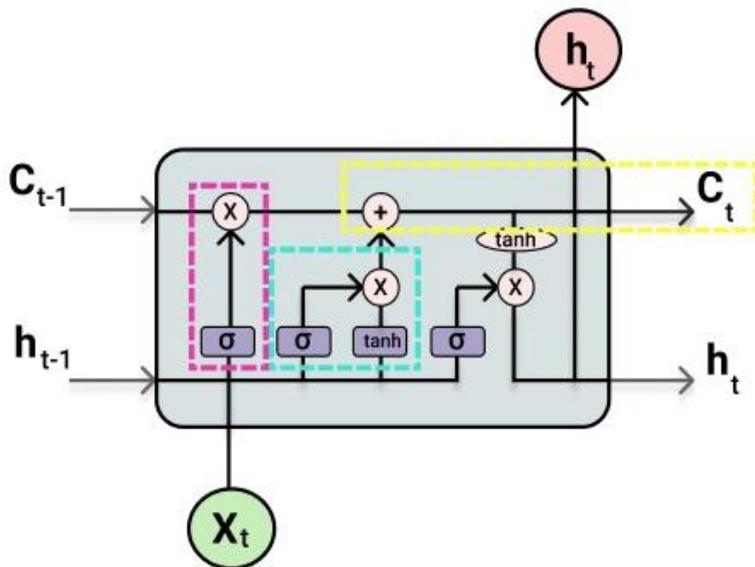


Рис. 4. Input Gate
Fig. 4. Input Gate



$$C_t = C_t^f + C_t^i$$

Рис. 5. Процесс обновления ячейки состояния
Fig. 5. Cell State update process

Далее определяется, какое значение будет выходным. Это выходное, результирующее значение определяется на основе ячейки состояния, но при этом проходит через ряд фильтров на основе сигмовидного и тангенциального слоев (рис. 6) [Zhang, 2015].

Подобные нейросети могут активно запоминать скрытые зависимости во входных данных и часто используются в задачах генерации и классификации текстовой информации [Джо, 2010].

Для реализации нейросети на практике использовался фреймворк Keras. Keras — высокоуровневый фреймворк, работающий поверх TensorFlow, позволяющий решать большое количество рутинных задач текстовой классификации, например, преобразование текста в числовые последовательности для анализа и быстрое моделирование нейронных сетей для машинного обучения [Батура, 2017].

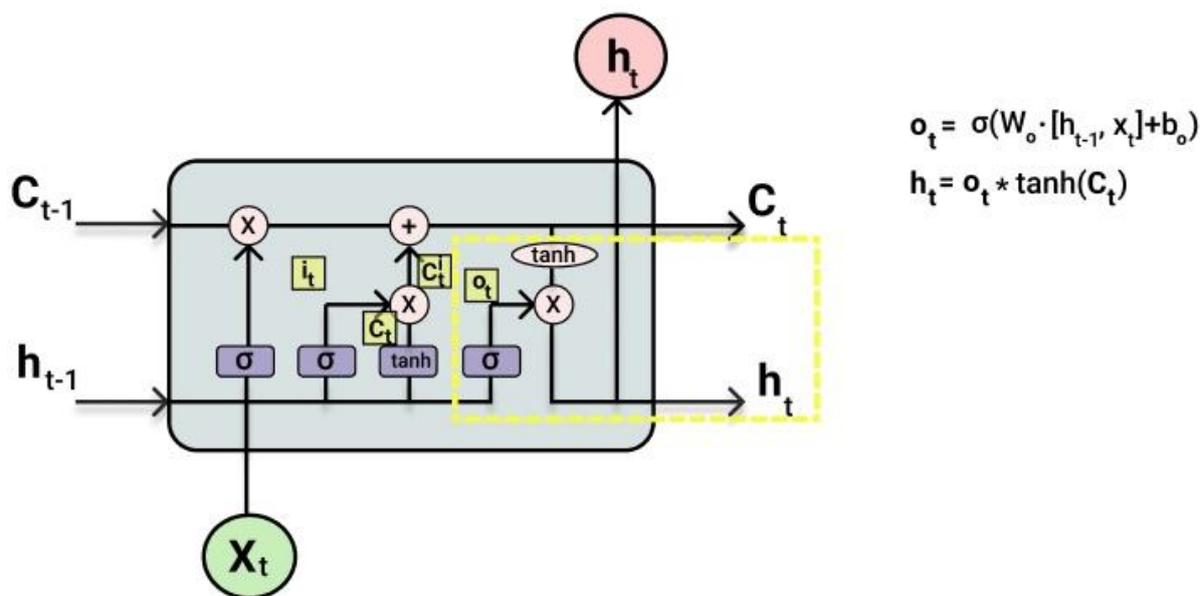


Рис. 6. Output Gate

Fig. 6. Output Gate

Для применения алгоритма текстовой классификации необходимо произвести предварительную обработку набора данных – как обучающего, так и целевого.

Так как нейросеть не может работать с текстовыми данными напрямую, то нужно составить словарь всех слов, заменить каждое слово на число — уникальный номер слова в словаре, а также выровнять длину каждого текста до нужного размера, обычно для этого берется максимальная длина одного элемента входных данных. Далее на представленных данных применяется любой алгоритм классификации [Шевелев, 2006].

Для решения поставленной выше задачи преобразования текста в числовые вектора, использовался специальный класс *Tokenizer* из фреймворка Keras. Применяя полученный словарь на предварительно обработанных данных, были сформированы числовые вектора.

Полученные числовые вектора – разной размерности, поэтому также требуется определить максимальную длину фразы [Багутдинов и др., 2020].

Полученный датасет разбивается при помощи функции *train_test_split()* из библиотеки *sklearn* на обучающее и тестовое подмножество. При этом данная функция производит перемешивание данных, таким образом, как в обучающем, так и в тестовом наборах присутствуют данные всех классов.

Так как векторы чисел – разной размерности, необходимо привести их к одному виду. Для этого используют технику *padding* – выбирается нужная длина вектора, все вектора меньшей длины – дополняются нулевыми значениями, все вектора большей длины – обрезаются. Взяв длину наиболее длинной фразы за основу (для предотвращения потери информации из-за обрезания длины вектора), можно применить данную технику на полученных числовых векторах [Рубцова, 2015; Нгуен, Шираи, 2013].

В свою очередь, метки классов (ранее представленные как числа) необходимо преобразовать в двоичные вектора, причем длина такого вектора – количество классов, на всех позициях стоят 0, на позиции соответствующего класса – единицы. Для преобразования нужно воспользоваться специальной функцией *to_categorical()*.

Так как данные несбалансированные, то в качестве метрики не используется метрика *accuracy* – процент верного распознавания. Допустимой метрикой в задаче классификации текстов с учётом несбалансированного набора данных является метрика *F1* [13]. В библиотеке Keras метрика *F1* по умолчанию не представлена, поэтому ее надо реализовать вручную. Класс, реализующий пользовательскую *F1*-метрику, показан на рис. 7.

```
In [26]: from keras import backend as K

def f1(y_true, y_pred):
    def recall(y_true, y_pred):
        """Recall metric.

        Only computes a batch-wise average of recall.

        Computes the recall, a metric for multi-label classification of
        how many relevant items are selected.
        """
        true_positives = K.sum(K.round(K.clip(y_true * y_pred, 0, 1)))
        possible_positives = K.sum(K.round(K.clip(y_true, 0, 1)))
        recall = true_positives / (possible_positives + K.epsilon())
        return recall

    def precision(y_true, y_pred):
        """Precision metric.

        Only computes a batch-wise average of precision.

        Computes the precision, a metric for multi-label classification of
        how many selected items are relevant.
        """
        true_positives = K.sum(K.round(K.clip(y_true * y_pred, 0, 1)))
        predicted_positives = K.sum(K.round(K.clip(y_pred, 0, 1)))
        precision = true_positives / (predicted_positives + K.epsilon())
        return precision
    precision = precision(y_true, y_pred)
    recall = recall(y_true, y_pred)
    return 2*((precision*recall)/(precision+recall+K.epsilon()))
```

Рис. 7. Пользовательская реализация метрики F1 для фреймворка Keras
Fig. 7. Implementing the custom F1 metric

Используя фреймворк Keras, можно построить нейронную сеть. Для реализации сети в Keras существует ряд API (*Sequential* и *Functional*). Использование *Sequential* позволяет реализовать сеть гораздо более простым образом, при этом *Functional* API намного более гибкое и мощное. Данные API взаимозаменяемые и могут дополнять друг друга. Код для построения модели показан на рис. 8.

```
model = Sequential()
model.add(Embedding(max_features + 1, maxSequenceLength))
model.add(LSTM(32, dropout=0.3))
model.add(Dense(num_classes, activation='sigmoid'))
```

Рис. 8. Определение модели LSTM-сети с помощью Sequential API
Fig. 8. LSTM network code created with Keras Sequential API

На первом этапе создается новая модель путем создания объекта класса *Sequential*. Далее в модель добавляется новый *Embedding*-слой, а за ним – LSTM-слой с коэффициентом *Dropout* = 0.3. Далее – скрытый слой с сигмовидной функцией активации.

Далее модель необходимо скомпилировать с выбранной функцией потерь, оптимизатором и метриками. Нужно указать также реализованную ранее метрику F1.

Также в составе модели был использован оптимизационный алгоритм *adam*, функция потерь на основе категориальной кросс-энтропии, а также выбраны метрики ассурасу и разработанная выше метрика F1. Подобная структура модели наиболее полно отвечает задачам текстовой классификации при помощи нейронных сетей [Абрамов; Эспиндола и др.]. Итоговая архитектура и количество параметров сети представлены на рис. 9.

Model: "sequential"

| Layer (type) | Output Shape | Param # |
|------------------------------|-------------------|----------|
| embedding (Embedding) | (None, None, 484) | 24779832 |
| lstm (LSTM) | (None, 32) | 66176 |
| dense (Dense) | (None, 3) | 99 |
| Total params: 24,846,107 | | |
| Trainable params: 24,846,107 | | |
| Non-trainable params: 0 | | |

None

Рис. 9. Архитектура скомпилированной Keras-модели
 Fig. 9. Keras compiled model architecture

Очередной этап = обучение полученной модели на обучающем множестве. Для этого был выбран размер *batch* равным 32 [Котельников, 2012]. Обучение производилось в течении 3-х эпох. Также использовалось 10 % обучающего множества как валидационное множество. Для обучения модели используется метод *fit*.

Графики изменения метрик *accuarcy*, *f1*, а также функции потерь в зависимости от эпохи представлены ниже на рис. 10, рис. 11 и рис. 12 соответственно. На вертикальной оси показано значение соответствующей метрики, на горизонтальной – эпоха обучения. Значение каждой метрики представлено в интервале [0,1]. Чем больше значение метрики и меньше значение функции потерь – тем точнее получается итоговая модель.

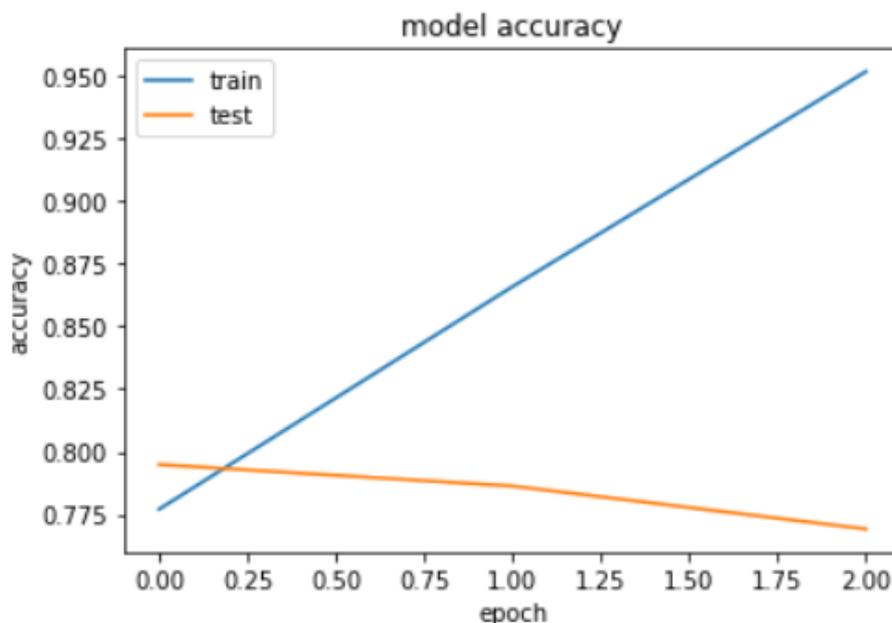


Рис. 10. Изменение метрики *Accuarcy* в зависимости от эпохи
 Fig. 10. LSTM Accuracy over time

Видно, что при обучении сети происходит повышение точности модели, а значение функции потерь убывает. При валидации модели на тестовом множестве точность немного снижается в зависимости от эпохи обучения, а значение функции потерь немного повышается.

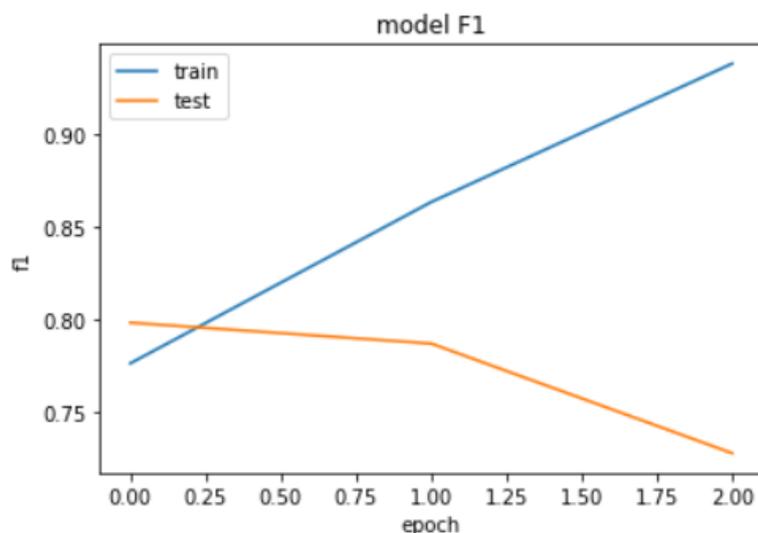


Рис. 11. Изменение метрики F1 в зависимости от эпохи
Fig. 11. LSTM F1 metric value over time

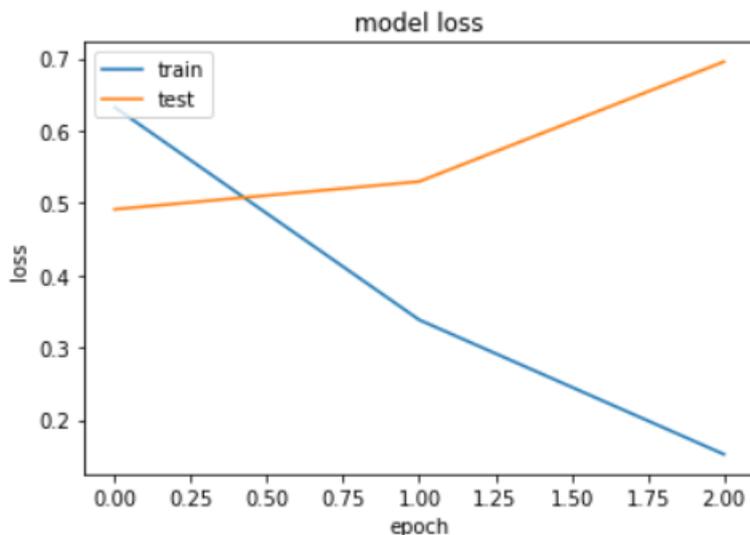


Рис. 12. Изменение значения функции потерь в зависимости от эпохи
Fig. 12. LSTM Loss over time

Разработка и обучение классификатора на основе свёрточной нейронной сети

Свёрточные нейронные сети (CNN) успешно зарекомендовали себя в задачах распознавания и классификации изображений, а также используются в других для повышения точности результатов в сравнении с традиционными методами [Кузьмицкий, 2013]. Свёрточная нейронная сеть – это особый тип нейронных сетей прямого распространения. Обычная данная сеть состоит из 1 или нескольких свёрточных слоев, а также 1 или нескольких скрытых слоев. Количество слоев варьируется в зависимости от задачи [Коллури, Разия, Наяк, 2020].

Основная особенность таких сетей – наличие чередующихся слоев типа «свёртка – субдискретизация», таких слоев может быть несколько. Операция свёртки происходит следующим образом: каждый фрагмент входа поэлементно умножается на матрицу весов (ядро), а результат – суммируется. Эта сумма является элементом выхода, он также называется картой признаков. Взвешенная сумма входов пропускается через функцию активации (рис. 13).

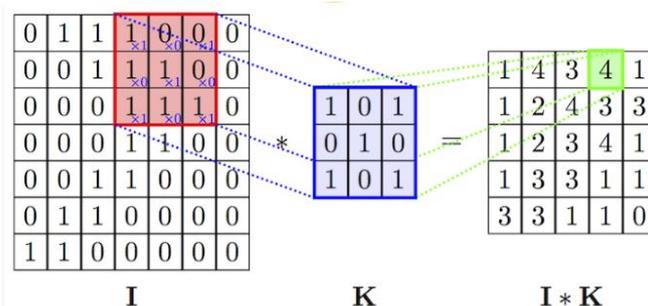


Рис. 13. Работа свёрточного слоя CNN-сети
Fig. 13. Convolution layer of the CNN network

Модель свёрточной сети также можно реализовать с помощью Keras [Жанг, 2015]. Для этого также используется Sequential модель. Первым слоем выступает Embedding-слой [Маас и др., 2011]. Далее следует слой Dropout. После него – свёрточный слой (Conv1D) с оконной функцией 5x5 и функцией активации ReLU [Сянг Жанг, 2015].

Также используется слой субдискретизации GlobalMaxPooling1D. После него используется скрытый полносвязный слой и выходной слой с функцией активации *softmax*.

Программная реализация данной модели представлена на рис.14 ниже:

```

model = Sequential()
model.add(Embedding(max_features + 1, maxSequenceLength))
model.add(Dropout(0.2))
model.add(Conv1D(128, 5,
                padding='valid',
                activation='relu',
                strides=1))
model.add(GlobalMaxPooling1D())
model.add(Dense(128))
model.add(Dropout(0.2))
model.add(Dense(num_classes, activation='softmax'))
    
```

Рис. 14. Реализация CNN-сети с помощью Keras
Fig. 14. CNN network code created with Keras Sequential API

Полученная модель компилируется с помощью метода *compile*. Используются аналогичные метрики, функция оптимизации и функция потерь, как и в случае с LSTM:

Архитектура реализованной свёрточной сети представлена на рисунке 15. Можно заметить, что число параметров, используемых в сети, больше, чем в сети LSTM, но незначительно.

Для обучения сети также применяется метод *fit*, но используются 4 эпохи обучения.

Метод *evaluate* применён для проверки качества модели.

Графики изменения метрик *accuracy*, *f1*, а также функции потерь в зависимости от эпохи представлены на рис. 16, рис. 17 и рис. 18 соответственно.

Полученную модель свёрточной нейронной сети можно сохранить при помощи метода *save()* модели. Также необходимо сохранить и объект *tokenizer*, так как он используется для обработки слов.

Видно, что динамика изменения значений функций метрик и функции потерь похожа на аналогичные динамики в сети LSTM, однако можно сделать вывод, что итоговые значения функции потерь ниже, чем у LSTM, а значения метрик выше.

Сравнив результаты F1-метрик разных моделей (простая, LSTM и CNN), можно составить следующую сравнительную таблицу (табл. 1.).

Таким образом, наиболее эффективным и точным классификатором является классификатор на основе свёрточной нейронной сети (CNN).

```

model.compile(loss='categorical_crossentropy',
              optimizer='adam',
              metrics=[f1, 'acc'])

print (model.summary())
    
```

Собираем модель...
Model: "sequential_4"

| Layer (type) | Output Shape | Param # |
|-------------------------------|-------------------|----------|
| embedding_4 (Embedding) | (None, None, 484) | 24779832 |
| dropout (Dropout) | (None, None, 484) | 0 |
| conv1d (Conv1D) | (None, None, 128) | 309888 |
| global_max_pooling1d (Global) | (None, 128) | 0 |
| dense_4 (Dense) | (None, 128) | 16512 |
| dropout_1 (Dropout) | (None, 128) | 0 |
| dense_5 (Dense) | (None, 3) | 387 |

=====
Total params: 25,106,619
Trainable params: 25,106,619
Non-trainable params: 0
=====
None

Рис. 15. Компиляция Keras-модели
Fig. 15. CNN model compilation

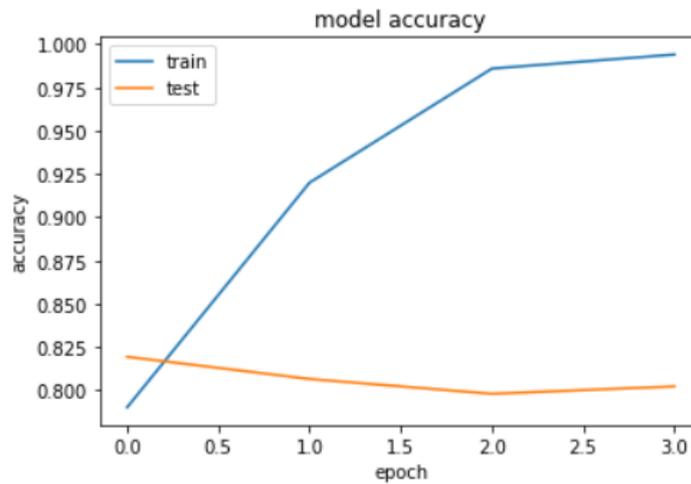


Рис. 16. Изменение метрики Accuracy в зависимости от эпохи
Fig. 16. CNN model accuracy over time

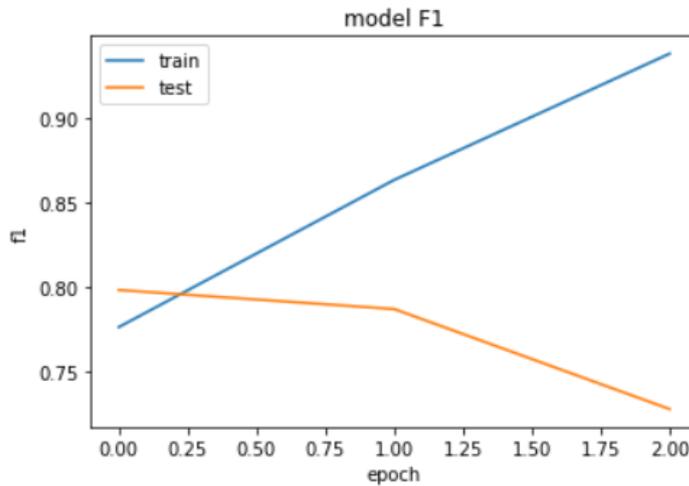


Рис. 17. Изменение метрики F1 в зависимости от эпохи
Fig. 17. CNN model F1 metric value over time

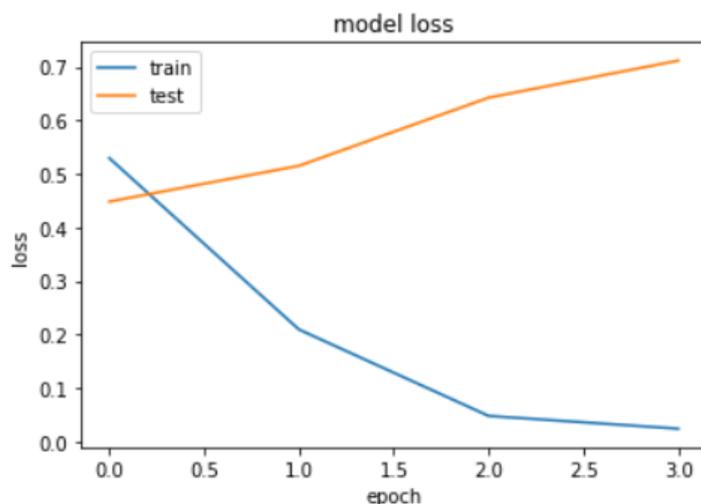


Рис. 18. Изменение значения функции потерь в зависимости от эпохи
 Fig. 18. CNN model loss over time

Таблица 1
 Table 1

Сравнение метрик F1 различных классификаторов
 Classifiers comparison by F1 metric value

| Название классификатора | Значение метрики F1 |
|--|---------------------|
| На основе алгоритма машинного обучения SGD | 0.5294 |
| На основе рекуррентной нейронной сети LSTM | 0.7335 |
| На основе свёрточной нейронной сети CNN | 0.7954 |

Заключение

В результате применения классификатора на основе свёрточной нейронной сети весь основной набор данных был размечен. Был добавлен новый столбец label со значением равным соответствующей предсказанной метке класса.

Была произведена аналитика полученных в ходе классификации данных, результаты классификации представлены в табл. 2.

Таблица 2
 Table 2

Результаты применения классификатора
 Classification results

| Расшифровка показателя | Обозначение | Значение показателя |
|---|-------------|---------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Всего записей для разбора | N | 9635185 |
| С признаком "event" | | 791825 |
| С признаком "page" | | 3311246 |
| Группы до 10 участников | | 1341261 |
| Группы от 10 до 100 участников | | 3506878 |
| Группы от 100 до 1000 участников | | 3291257 |
| Группы без описания, пришлось просмотреть "вручную" | | 3177212 |
| Не участвуют в рассмотрении (признак 0) | | 38480 |
| Всего не участвуют в рассмотрении (признак 0,4,5) | Нпуст | 8769333 |
| Всего участвуют в рассмотрении | Нобщ | 865852 |
| Число нейтральных записей | Ннейтр | 779412 |
| Число радикальных записей | Нрад | 6181 |

Окончание табл. 2

| 1 | 2 | 3 |
|---------------------------|-------------|-------------|
| Число примеряющих записей | Нприм | 80259 |
| | Нобщ/N | 0,09 |
| | Ннейтр/Нобщ | 0,900167696 |
| | Нрад/Нобщ | 0,007138633 |
| | Нприм/Нобщ | 0,092693671 |

Соотношение рассматриваемых и не подходящих для исследования данных показано на рис. 19. Можно сделать вывод, что всего 9 % данных подходят для анализа. 91 % данных являются непригодными для исследований и не используются.

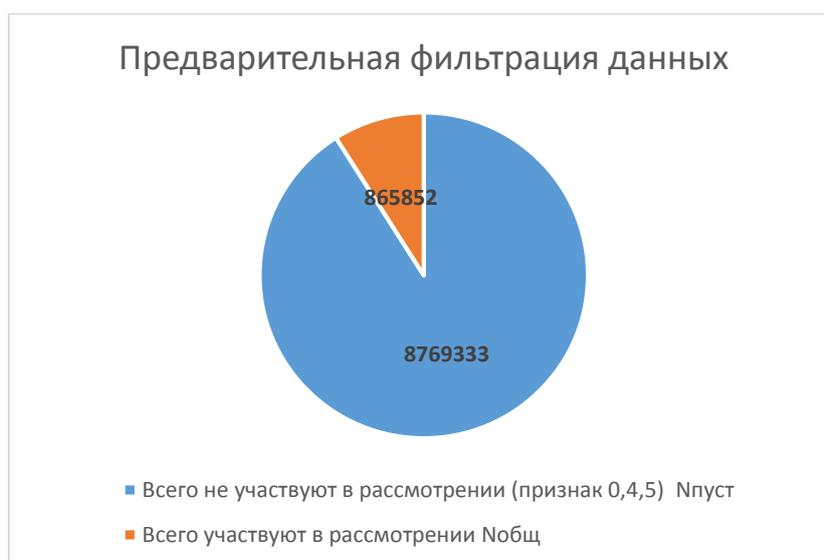


Рис. 19. Соотношение всех записей
 Fig. 19. The ratio of useful data and not suitable data for research

Анализируя соотношение полезных записей, был сделан вывод, что всего 0,7 % групп в среднем классифицированы, как «радикальные», примерно 9 % – как «примиряющие», а остальные 90,1 % – как «нейтральные».

Таким образом, в рамках данной статьи успешно применен алгоритм классификации текстовых данных с помощью нейронных сетей, в частности, рекуррентной и свёрточной, в рамках задачи обработки текстовых данных социальных групп на основе их описания и других параметров для задачи текстовой небинарной классификации.

Для нормализации входных данных была проведена предварительная обработка данных, в частности, изменение регистра текста, удаление спецсимволов и стэмминг.

Были построены модели классификатора на основе рекуррентной и свёрточной нейронных сетей с помощью библиотек TensorFlow и Keras, а также определены метрики данных моделей. Установлено, что свёрточная нейронная сеть выдает лучшие результаты. Для оценки данных моделей и их сравнения использовалась метрика F1.

Выполнена аналитика на основном наборе данных с целью поиска радикальных, нейтральных и объединяющих сообществ.

В дальнейших работах планируется исследование взаимосвязи пользователей в предсказанных с помощью разработанных моделей радикальных сообществах, взаимосвязи пользователей между собой. Также будет произведено построение графа пользователей и его анализ с помощью Gephi.



Рис. 20. Соотношение полезных записей
Fig. 20. Ratio of neutral, positive and radical data

Список литературы

1. Абрамов Р.А. Основные метрики задач классификации в машинном обучении. URL: <https://webiomed.ai/blog/osnovnye-metriki-zadach-klassifikatsii-v-mashinnom-obuchenii/> (дата обращения: 12.08.2020).
2. Багутдинов Р.А., Саргсян Н.А., Краснопахтыч М.А. 2020. Аналитика, инструменты и интеллектуальный анализ больших разнородных и разномасштабных данных. Экономика. Информатика. 47 (4): 792–802. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4- 792-802.
3. Батура Т.В. 2017. Методы автоматической классификации текстов. Программные продукты и системы. 1 (30): 85–99. DOI: 10.15827/0236-235X.030.1.085-099.
4. Котельников Е.В. 2012. Комбинированный метод автоматического определения тональности текста. Программные продукты и системы. 3 (109): 189–195.
5. Котельников Е.В., Клековкина М.В. 2011. Автоматический анализ тональности текстов на основе методов машинного обучения. РОМИП. URL: <http://www.dialog-21.ru/media/1380/105.pdf>. (дата обращения: 12.08.2020).
6. Кузьмицкий Н.Н. 2013. Создание универсальных классификаторов текстовых образов на основе сверточных нейросетевых технологий. ГрафиКон'2013: 23-я Международная конференция по компьютерной графике и зрению: 234–238.
7. Мащенко Е.Н, Оболенский Д.М., Соина А.С., Ченгарь О.В. 2020. «Разобщающий», «нейтральный» и «объединяющий» контент сообществ сети ВКонтакте на Украине: определение понятий. The Newman in Foreign Policy. 54 (98): 38–43.
8. Мошкин В.С., Андреев И.А. 2019. Сравнение эффективности применения алгоритмов сентимент-анализа неструктурированных ресурсов социальных сетей. Восьмая Междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии». САИТ-2019: тр. конф. М.: ФИЦ ИУ РАН: 534–540.
9. Метрики в задачах машинного обучения. URL: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/328372/> (дата обращения: 12.08.2020).
10. Оболенский Д.М. и др. 2020. Сбор и предварительная обработка данных пользователей социальных сетей с помощью портала «Открытые Данные». Modern Science. 7 (2): 369–378.
11. Рубцова Ю.В. 2015. Построение корпуса текстов для настройки тонового классификатора. Программные продукты и системы. 1 (109): 72–78. DOI:10.15827/0236-235X.109.072-078.
12. Смирнова О.С., Шишков В.В. 2016. Выбор топологии нейронных сетей и их применение для классификации коротких текстов. International Journal of Open Information Technologies. 4 (8): 50–54.
13. Шевелев О.Г., Петраков А.В. 2006. Классификация текстов с помощью деревьев решений и нейронных сетей прямого распространения. Вестник Томского государственного университета. 290 (1): 300–307.
14. Espíndola, Rogério & Ebecken, Nelson. 2005. On extending f-measure and g-mean metrics to multi-class problems. Sixth international conference on data mining, text mining and their business

- applications. 35: 25–34. URL: https://www.researchgate.net/publication/286914533_On_extending_f-measure_and_g-mean_metrics_to_multi-class_problems (дата обращения: 12 августа 2020).
15. Jo T. 2010. NTC (Neural Text Categorizer): Neural Network for Text Categorization. *International Journal of Information Studies*. 2(2): 83–96.
16. Kolluri J., Razia S., Nayak S.R. 2020. Text Classification Using Machine Learning and Deep Learning Models. URL: <https://ssrn.com/abstract=3618895> (дата обращения: 12 августа 2020).
17. Kowsari J. M., Heidarysafa M. 2019. Text Classification Algorithms: A Survey. *Information*, 10 (4): 150–154.
18. Maas A.L., Daly R.E., Pham P.T., Huang D., Ng A.Y., Potts C. 2011. Learning word vectors for sentiment analysis. *The International Language Technologies*. 1: 142–150.
19. Nguyen T.H., Shirai K. 2013. Text Classification of Technical Papers Based on Text Segmentation. *Natural Language Processing and Information Systems. NLDB 2013. Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Berlin, Heidelberg, 121.
20. Ramasundaram S., Victor. S. 2010. Text Categorization by Backpropagation Network. *International Journal of Computer Applications*. 8 (6): 1–5.
21. Zhang, X. 2015. Character-level convolutional networks for text classification. Xiang Zhang, Junbo Zhao, Yann LeCun. In *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2015. Feb. 649–657 p.
22. Understanding LSTM Networks. URL: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs> (дата обращения: 17 July 2020).
23. Nguyen T.H., Shirai K. 2013. Text Classification of Technical Papers Based on Text Segmentation. In: Métais E., Meziane F., Saraee M., Sugumaran V., Vadera S. (eds) *Natural Language Processing and Information Systems. NLDB 2013. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7934. Springer, Berlin, Heidelberg.
24. Ramasundaram, S., Victor, S. Text Categorization by Backpropagation Network. *International Journal of Computer Applications*. 2010. 8 (6): 1–5.
25. Zhang, X. Character-level convolutional networks for text classification. Xiang Zhang, Junbo Zhao, Yann LeCun. In *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2015. Feb. 649–657 p.
26. Understanding LSTM Networks. URL: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs> (accessed: 17 July 2020).

References

1. Abramov R. Osnovnye metriki zadach klassifikatsii v mashinnom obuchenii. URL: <https://webiomed.ai/blog/osnovnye-metriki-zadach-klassifikatsii-v-mashinnom-obuchenii/> (accessed: 12 August 2020) (in Russian).
2. Bagutdinov R.A., Sargsan N.A., Krasnoplakhtych M.A. 2020. Analytics, tools and intellectual analysis of large different and differential data. *Economics. Information technologies*. 47 (4): 792–802 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4-792-802.
3. Batura T.V. 2017. Metody avtomaticheskoy klassifikatsii tekstov. *Programmnye produkty i sistemy*. 1 (30): 85–99 (in Russian). DOI: 10.15827/0236-235X.030.1.085-099.
4. Kotel'nikov E.V. 2012. Kombinirovannyj metod avtomaticheskogo opredelenija tonal'nosti teksta. *Programmnye produkty i sistemy*. 3 (109): 189–195 (in Russian).
5. Kotel'nikov E.V., Klekovkina M.V. 2011. Avtomaticheskij analiz tonal'nosti tekstov na osnove metodov mashinnogo obuchenija. ROMIP. URL: <http://www.dialog-21.ru/media/1380/105.pdf>. (accessed: 12 August 2020) (in Russian).
6. Kuz'mickij, N.N. 2013. Sozdanie universal'nyh klassifikatorov tekstovyh obrazov na osnove svertochnykh nejrosetevykh tehnologij. *GrafiKon'2013: 23-ja Mezhdunarodnaja konferencija po komp'juternoj grafike i zreniju*: 234–238 (in Russian).
7. Mashhenko E.N, Obolenskij D.M., Soina A.S., Chengar' O.V. 2020. "Razobshhajushhij", "nejtral'nyj" i "obedinajushhij" kontent soobshhestv seti VKontakte na Ukraine: opredelenie ponjatij. *The Newman in Foreign Policy*. 54 (98): 38–43 (in Russian).
8. Moshkin V.S., Andreev I.A. 2019. Sravnenie jeffektivnosti primenenija algoritmov sentiment-analiza nestrukturirovannyh resursov social'nyh setej. Vos'maja Mezhdunar. konf. "Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii". SAIT-2019: тр. конф. М.: ФИЦ ИУ РАН: 534–540 (in Russian).
9. Metriki v zadachah mashinnogo obuchenija. URL: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/328372/> (accessed: 12 August 2020) (in Russian).

10. Obolensky D.M. et al. 2020. Sbor i predvaritel'naja obrabotka dannyh pol'zovatelej social'nyh setej s pomoshh'ju portala "Otkrytye Dannye". *Modern Science*. 7 (2): 369–378 (in Russian).
11. Rubcova Ju.V. 2015. Postroenie korpusa tekstov dlja nastrojki tonovogo klassifikatora. *Programmnye produkty i sistemy*. 1 (109): 72–78 (in Russian). DOI:10.15827/0236-235X.109.072-078
12. Smirnova O. S., Shishkov V. V. 2016. Vybor topologii nejronnyh setej i ih primenenie dlja klassifikacii korotkih tekstov. *International Journal of Open Information Technologies*. 4 (8): 50–54 (in Russian).
13. Shevelev O.G., Petrakov A.V. 2006. Klassifikacija tekstov s pomoshh'ju derev'ev reshenij i nejronnyh setej prjamogo rasprostraneniya. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. 290 (1): 300–307 (in Russian).
14. Espíndola, Rogério & Ebecken, Nelson. 2005. On extending f-measure and g-mean metrics to multi-class problems. *Sixth international conference on data mining, text mining and their business applications*. 35: 25–34. URL: https://www.researchgate.net/publication/286914533_On_extending_f-measure_and_g-mean_metrics_to_multi-class_problems (access: 12 August 2020).
15. Jo T. 2010. NTC (Neural Text Categorizer): Neural Network for Text Categorization. *International Journal of Information Studies*. 2 (2): 83–96.
16. Kolluri J., Razia S., Nayak S.R. 2020. Text Classification Using Machine Learning and Deep Learning Models. URL: <https://ssrn.com/abstract=3618895> (дата обращения: 12 августа 2020).
17. Kowsari J. M., Heidarysafa M. 2019. Text Classification Algorithms: A Survey. *Information*, 10 (4): 150–154.
18. Maas A.L., Daly R.E., Pham P.T., Huang D., Ng A.Y., Potts C. 2011. Learning word vectors for sentiment analysis. *The International Language Technologies*. 1: 142–150.
19. Nguyen T.H., Shirai K. 2013. Text Classification of Technical Papers Based on Text Segmentation. *Natural Language Processing and Information Systems. NLDB 2013. Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Berlin, Heidelberg, 121.
20. Ramasundaram S., Victor. S. 2010. Text Categorization by Backpropagation Network. *International Journal of Computer Applications*. 8 (6): 1–5.
21. Zhang, X. 2015. Character-level convolutional networks for text classification. Xiang Zhang, Junbo Zhao, Yann LeCun. In *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2015. Feb. 649–657 p.
22. Understanding LSTM Networks. URL: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs> (accessed: 17 July 2020).
23. Nguyen T.H., Shirai K. 2013. Text Classification of Technical Papers Based on Text Segmentation. In: Métais E., Meziane F., Saraee M., Sugumaran V., Vadera S. (eds) *Natural Language Processing and Information Systems. NLDB 2013. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7934. Springer, Berlin, Heidelberg.
24. Ramasundaram, S., Victor, S. Text Categorization by Backpropagation Network. *International Journal of Computer Applications*. 2010. 8 (6): 1–5.
25. Zhang, X. Character-level convolutional networks for text classification. Xiang Zhang, Junbo Zhao, Yann LeCun. In *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2015. Feb. 649–657 p.
26. Understanding LSTM Networks. URL: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs> (accessed: 17 July 2020).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Оболенский Денис Михайлович, ассистент кафедры информационных технологий и компьютерных систем ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Россия

Denis M. Obolensky, Assistant of the Department of Information Technologies and Computer Systems, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Шевченко Виктория Игоревна, кандидат технических наук, доцент, зав. базовой кафедрой корпоративных информационных систем ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Россия

Victoria I. Shevchenko, Candidate of technical sciences, Associate Professor, Head of the Base Department of Corporate Information Systems Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Ченгарь Ольга Васильевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий и компьютерных систем ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Россия

Olga V. Chengar, Candidate of technical sciences, Associate Professor, Assitance Professor of the Department of Information Technologies and Computer Systems, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Мащенко Елена Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий и компьютерных систем ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» г. Севастополь, Россия

Elena N. Maschenko, Candidate of technical sciences, Associate Professor, Assitance Professor of the Department of Information Technologies and Computer Systems, Sevastopol State University Sevastopol, Russia

Соина Анастасия Сергеевна, кандидат технических наук, ассистент ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Россия

Anastasia S. Soina, Candidate of technical sciences, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 681.518

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-116-122

Подход к разработке системы выявления инцидентов информационной безопасности информационных ресурсов банковских систем при реализации этапов противодействия противоправным действиям

Александров В.В., Малий Ю.В., Александрова Ю.В., Семенякин А.И.

Белгородский университет кооперации, экономики и права,
Россия, 308023, г. Белгород, ул. Садовая, 116а
E-mail: kaf-otzi@buket.ru

Аннотация. Целью данной статьи является рассмотрение подхода к определению вероятности выявления инцидентов информационной безопасности информационных ресурсов банковских систем, при реализации этапов противодействия противоправным действиям (НСД, копирование, изменение, уничтожение информации). Авторами рассмотрена актуальность применения системы Security Information and Event Management (SIEM). Описаны источники данных для систем выявления инцидентов, атрибуты, которые могут быть проанализированы SIEM системой. При рассмотрении подхода к определению вероятности выявления инцидентов информационной безопасности введены параметры v_n , $v_{(\min)}$ обозначающие объем и минимальный объем базы правил корреляции системы выявления инцидентов информационной безопасности соответственно. Как результат определена вероятность, позволяющая полно характеризовать систему выявления инцидентов информационной безопасности информационных ресурсов банковских систем, при реализации этапов противодействия противоправным действиями (НСД, копирование, изменение, уничтожение информации).

Ключевые слова: информационная безопасность, банковские информационные ресурсы, выявление инцидентов информационной безопасности, правила корреляции, система выявления инцидентов информационной безопасности.

Для цитирования: Александров В.В., Малий Ю.В., Александрова Ю.В., Семенякин А.И. 2021. Подход к разработке системы выявления инцидентов информационной безопасности информационных ресурсов банковских систем при реализации этапов противодействия противоправным действиям. Экономика. Информатика, 48 (1): 116–122. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-116-122.

Approach to development of a system for detecting incidents of information security of information resources of banking systems, when implementing stages of counteraction of illegal actions

Vitaliy V. Aleksandrov, Yuliya V. Maliy, Yuliya V. Aleksandrova, Aleksandr I. Semenyakin

Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Russia,
116A Sadovaya St, Belgorod, 308023, Russia
E-mail: kaf-otzi@buket.ru

Abstract. The purpose of this article is to consider an approach to determining the probability of detecting information security incidents of information resources of banking systems, when implementing the stages of countering illegal actions (unauthorized actions, copying, changing, destroying information). The authors

considered the relevance of using the Security Information and Event Management (SIEM) system. The data sources for incident detection systems, attributes that can be analyzed by the SIEM system are described. When considering an approach to determining the probability of detecting information security incidents, the parameters v_n , v (min) were introduced, denoting the volume and minimum volume of the correlation rule base of the information security incident detection system, respectively. As a result, the probability was determined, which makes it possible to fully characterize the system for identifying incidents of information security of information resources of banking systems when implementing the stages of countering illegal actions (unauthorized actions, copying, changing, destroying information).

Keywords: information security, banking information resources, identification of information security incidents, correlation rules, information security incident detection system.

For citation: Alexandrov V.V., Maliy Yu.V., Alexandrova Yu.V., Semenyakin A.I. 2021. Approach to development of a system for detecting incidents of information security of information resources of banking systems, when implementing stages of counteraction of illegal actions. Economics. Information technologies, 48 (1): 116–122 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-116-122.

Введение

При построении системы защиты информации число источников, отражающих актуальную защищенность, непрерывно растет, возрастает нагрузка на администраторов безопасности, что ведет к несвоевременному выявлению угроз безопасности и делает уязвимой систему защиты [Заряев, 2003; Малюк, 2004; Хорев, 2008; Пономаренко и др., 2018]. Проблема защиты банков от хакерских атак обсуждалась на конференции «SIEM в банковской сфере: автоматизация хаоса», организованной журналом «Банковское обозрение». За последние 5 лет произошел резкий рост крупномасштабных, скоординированных и хорошо организованных хакерских атак на банки, ставящих под угрозу экономическую стабильность, сохранность финансовых активов, безопасность персональных данных и корпоративной конфиденциальной информации, поэтому в предотвращении таких неприятных инцидентов заинтересованы как банки, так и их клиенты.

Участники конференции сошлись на том, что на сегодняшний день SIEM – это некий технологический минимум, который обязательно должен быть у каждого банка.

С целью комплексной защиты финансовые учреждения активно внедряют в использование комбинированное программное обеспечение по управлению событиями информационной безопасности, получившее аббревиатуру SIEM: от SIM, security information management – управление информационной безопасностью и от SEM, security event management – управление событиями безопасности. Его суть – собирать информацию о событиях, мониторить сетевой трафик, действия пользователей и неопознанных устройств, анализировать инциденты [Официальный сайт системы NetIQ Sentinel SIEM, дата обращения 15.10.2020].

Основная часть

Работа SIEM системы построена по принципу объединения данных о событиях из разных источников в сетевой инфраструктуре, включая серверы, системы, устройства и приложения, от периметра до конечного пользователя, в конечном счете, решение SIEM анализирует данные на предмет отклонений от правил поведения, определенных организацией, для выявления потенциальных угроз (рис. 1).

Источниками данных для систем выявления инцидентов являются [Официальный сайт системы MaxPatrol SIEM, дата обращения 15.10.2020]:

1. Сетевые устройства: маршрутизаторы, коммутаторы, мосты, точки беспроводного доступа, модемы, линейные драйверы, концентраторы.
2. Серверы: веб, прокси, почта, FTP.
3. Устройства безопасности: IDP / IPS, брандмауэры, антивирусное программное обеспечение, устройства фильтрации контента, устройства обнаружения вторжений.
4. Приложения: любое программное обеспечение, используемое на любом из перечисленных устройств.

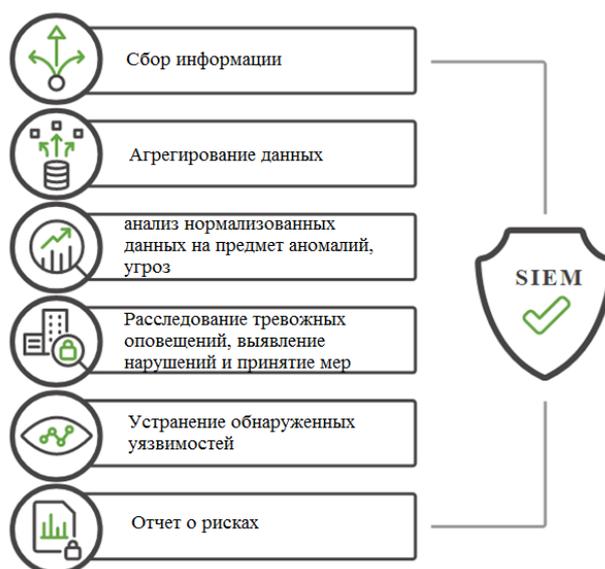


Рис. 1. Работа SIEM системы
Fig. 1. SIEM system operation

Атрибуты, которые могут быть проанализированы, включают пользователей, типы событий, IP-адреса, память, процессы и многое другое [Авсентьев, 2016]. Эта информация передается на консоль управления, где анализируется для устранения возникающих угроз. Как только необходимая информация попадает в консоль управления, она просматривается администратором безопасности, который может предоставить обратную связь по всему процессу. Обратная связь помогает обучить систему SIEM с точки зрения машинного обучения и повышения ее знакомства с окружающей средой. Как только программная система SIEM идентифицирует угрозу, она связывается с другими системами безопасности на устройстве, чтобы остановить нежелательную деятельность [Miller, 2010].

Каждый пользователь или устройство оставляет за собой виртуальный след в журналах устройств [Пономаренко и др., 2017]. Системы SIEM используют данные этих журналов, чтобы получить информацию о произошедших атаках и событиях. SIEM не только идентифицирует, что атака произошла, но и позволяет увидеть, как и почему она произошла, что позволяет повысить экономическую стабильность, сохранность финансовых активов, безопасность персональных данных и корпоративной конфиденциальной информации [Официальный сайт системы ViPNet TIAS, дата обращения 15.10.2020].

Результаты и их обсуждение

В работе рассматривается подход к определению вероятности выявления инцидентов информационной безопасности информационных ресурсов банковских систем, при реализации этапов противодействия противоправным действиями (НСД, копирование, изменение, уничтожение информации).

Были введены следующие понятия:

v_n – объем базы правил корреляции системы выявления инцидентов информационной безопасности;

$v_{(\min)}$ – минимальный объем базы правил корреляции системы выявления инцидентов информационной безопасности.

v_c – объем базы правил корреляции системы выявления инцидентов информационной безопасности в реализующих s -ю функцию.

Тогда при осуществлении n -го этапа противоправных действий в отношении банковских информационных ресурсов можно представить следующее выражение, показывающее, что инцидент информационной безопасности будет выявлен при условии когда объем базы правил корреляции системы выявления инцидентов информационной безопасности не менее минимально

допустимой величины $t_{(\min)n}$ [Александров, 2010; Авсентьев, Авсентьев, 2015; Авсентьев и др., 2015; Меньших, Авсентьев, 2015; Авсентьев, Жидко, 2016; Авсентьев и др., 2016; Скрыль и др., 2017]:

$$v_n \geq v_{(\min)n} . \tag{1}$$

Так как v_n является функцией от характеристик системы выявления инцидентов информационной безопасности, выполняющих определенные направления защиты, то:

$$v_n = \sum_{m=1}^M \circ t_c , \tag{2}$$

где v_c – объем базы правил корреляции системы выявления инцидентов информационной безопасности, реализующих m -ое направление защиты, а операция $\sum_{m=1}^M \circ$ означает композицию M случайных величин.

Входящая в (1) величина v_e является случайной [Скрыль, Мишин, 2005; Скрыль и др., 2010; Авсентьев и др., 2016]:

$$P = P(v_e \geq v_{(\min)e}) . \tag{3}$$

Данную вероятность можно описать как среднее количество событий, когда инцидент был включен в базу правил корреляции и распознан системой выявления инцидентов информационной безопасности в рамках n -го этапа противоправных действий, относительно общего числа инцидентов:

$$P = P(v_n \geq v_{(\min)n}) = \frac{1}{G} \sum_{g=1}^G \delta_{n,g} , \tag{4}$$

где $\delta_{eg} = \begin{cases} 1, & \text{при } v_{ng} \geq v_{(\min)ng} \\ 0, & \text{при } v_{ng}^{(2)} < v_{(\min)ng} \end{cases} ;$

v_{eg} – объем базы правил корреляции системы выявления инцидентов информационной безопасности, реализующих n -й этап противодействия g -й, $g = 1, 2, \dots, G$, угрозе противоправных действий;

$v_{(\min)cg}$ – минимальный объем базы правил корреляции системы выявления инцидентов информационной безопасности, соответствующий g -ой угрозе при реализации n -го этапа мероприятий по защите информации;

G – общее число исследуемых инцидентов информационной безопасности в отношении информационных ресурсов банковских систем.

В связи с тем, что в (1) изменяемым параметром может являться минимальный объем базы правил корреляции системы выявления инцидентов информационной безопасности, вероятность (2) может быть записана так:

$$P_n = P(v_n \geq v_{(\min)n}) = 1 - P(v_e < v_{(\min)n}), n = 1, 2, \dots, N . \tag{5}$$

Указанная вероятность позволяет полно характеризовать систему выявления инцидентов информационной безопасности информационных ресурсов банковских систем, при реализации этапов противодействия противоправным действиями (НСД, копирование, изменение, уничтожение информации).

Заключение

В ходе исследования была определена вероятность, позволяющая полно характеризовать систему выявления инцидентов информационной безопасности информационных ресурсов банковских систем, при реализации этапов противодействия противоправным действиям таким как НСД, копирование, изменение, уничтожение информации.

Список источников

1. Официальный сайт системы MaxPatrol SIEM. URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/products/mpsiem/> (дата обращения 15.10.20).
2. Официальный сайт системы NetIQ Sentinel SIEM. URL: <https://www.netiq.com/products/sentinel/> (дата обращения 15.10.20).
3. Официальный сайт системы ViPNet TIAS. URL: <https://infotecs.ru/product/vipnet-tias.html> (дата обращения 15. 10.20).

Список литературы

1. Авсентьев А.О. 2016. Определение ценности информации, ТУСУР. 19 (1): 21–24.
2. Авсентьев О.С. Авсентьев А.О. 2015. Формирование обобщенного показателя ценности информации в каналах связи. Вестник Воронежского института МВД России. 2: 55–63.
3. Авсентьев О.С. Вальде А.Г., Кругов А.Г. 2016. Математическая модель защиты информации от утечки по электромагнитным каналам. Вестник Воронежского института МВД России. 3: 42–50.
4. Авсентьев О.С. Жидко Е.А. 2016. Обоснование требований к уровню информационной безопасности объекта защиты. Вестник Воронежского института МВД России. 1: 33–43.
5. Авсентьев О.С. Меньших В.В., Авсентьев А.О. 2015. Моделирование и оптимизация процессов передачи и защиты информации в каналах связи. Специальная техника. 5: 47–50.
6. Авсентьев О.С. Меньших В.В., Авсентьев А.О. 2016. Модель оптимизации процесса передачи информации по каналам связи в условиях угроз ее безопасности. Телекоммуникации. 1: 28–32.
7. Александров В.В. 2010. Показатели эффективности реализации информационных процессов в ИТКС в условиях противодействия угрозам информационной безопасности. В кн.: Теория и практика инновационного развития кооперативного образования и науки. Белгород, Издательство БУКЭП: 18–20.
8. Заряев А.В. 2003. Источники и каналы утечки информации в телекоммуникационных системах. Воронеж, Воронежский институт МВД России, 305.
9. Малюк А.А. 2004. Информационная безопасность: концептуальные и методологические основы защиты информации. М., Горячая линия Телеком, 280.
10. Меньших В.В., Авсентьев А.О. 2015. Модель оптимизации процесса обеспечения требований к свойствам информации при ее передаче по каналам связи. Вестник Воронежского института МВД России. 4: 147–154.
11. Пономаренко С.В., Пономаренко С.А., Александров В.В. 2017. Моделирование несанкционированного доступа к информационным ресурсам ключевых систем информационной инфраструктуры. Белгород, Издательство БУКЭП, 177.
12. Пономаренко С.В., Прокушев Я.Е., Александров В.В., Ломазов В.А. 2018. Актуальные проблемы экономической безопасности персональных данных информационных инфраструктур банковской сферы. Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 4: 246–252.
13. Скрыль С.В., Мишин Д.С. 2005. Угрозы информационной безопасности в компьютерных сетях органов внутренних дел. В кн.: Современные проблемы борьбы с преступностью. Воронеж, Воронежский институт МВД России, 5–6.
14. Скрыль С.В., Спивак В.И., Щербаков А.В., Пономаренко С.В. 2017. Проблема оптимизации процедур комплексного технического контроля защищенности информации от утечки по каналам ПЭМИН: концепция решения. Телекоммуникации. М., Наука и технологии ООО, 10: 23–34.
15. Скрыль С.В., Финько В.Н., Пономаренко С.В., Волкова С.Н., Рябинин Г.И. 2010. Показатель эффективности информационной деятельности органов государственного управления в условиях противодействия утечке информации по техническим каналам Информация и безопасность. 13 (1): 141–142.
16. Хорев А.А. 2008. Техническая защита информации: Т. 1. Технические каналы утечки информации. М., НПЦ «Аналитика», 436.

17. Miller D., Harris S., Harper S., VanDyke C. 2010. Security Information and Event Management (SIEM) Implementation. McGraw Hill Professional, 464 p.

References

1. Avsentiev A.O. 2016. Determining the value of information, TUSUR. 19 (1): 21–24. (in Russian)
2. Avsentiev O.S. Avsentiev A.O. 2015. Formation of a generalized indicator of the value of information in communication channels. Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2: 55–63. (in Russian)
3. Avsentiev O.S. Walde A.G., Krugov A.G. 2016. Mathematical model of information protection against leakage through electromagnetic channels. Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 3: 42–50. (in Russian)
4. Avsentiev O.S. Zhidko E.A. 2016. Justification of requirements for the level of information security of the protected object. Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 1: 33–43. (in Russian)
5. Avsentiev O.S. Menshikh V.V., Avsentiev A.O. 2015. Modeling and optimization of information transmission and protection processes in communication channels. Special equipment. 5: 47–50. (in Russian)
6. Avsentiev O.S. Menshikh V.V., Avsentiev A.O. 2016. A model for optimizing the process of transferring information through communication channels in conditions of threats to its security. Telecommunications. 1: 28–32. (in Russian)
7. Aleksandrov V.V. Pokazateli jeffektivnosti realizacii informacionnyh processov v ITKS v uslovijah protivodejstviya ugrozam informacionnoj bezopasnosti [Indicators of the effectiveness of the implementation of information processes in ITKS in the context of countering threats to information security]. V kn.: Teorija i praktika innovacionnogo razvitija kooperativnogo obrazovanija i nauki [In: Theory and practice of innovative development of cooperative education and science]. Belgorod, Publishing House BUKEP: 18–20.
8. Zaryaev A.V. 2003. Istochniki i kanaly utechki informacii v telekommunikacionnyh sistemah. [Sources and channels of information leakage in telecommunication systems]. Voronezh, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 305.
9. Malyuk A.A. 2004. Informacionnaja bezopasnost': konceptual'nye i metodologicheskie osnovy zashhity informacii [Information Security: Conceptual and Methodological Foundations of Information Security]. M., Hotline Telecom, 280.
10. Menshikh V.V. Avsentiev A.O. 2015. A model for optimizing the process of ensuring the requirements for the properties of information during its transmission through communication channels. Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 4: 147–154. (in Russian)
11. Ponomarenko S.V., Ponomarenko S.A., Alexandrov V.V. 2017. Modelirovanie nesankcionirovannogo dostupa k informacionnym resursam kljuchevyh sistem informacionnoj infrastruktury [Modeling of unauthorized access to information resources of key information infrastructure systems]. Belgorod, Publishing House BUKEP, 177.
12. Ponomarenko S.V., Prokushev Ya.E., Alexandrov V.V., Lomazov V.A. 2018. Actual problems of economic security of personal data of information infrastructures of the banking sector. Bulletin of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law. 4: 246–252. (in Russian)
13. Skryl S.V., Mishin D.S. 2005. Ugrozy informacionnoj bezopasnosti v komp'juternyh setjah organov vnutrennih del [Threats to information security in computer networks of internal affairs bodies] In: Sovremennye problemy bor'by s prestupnost'ju [Modern problems of combating crime]. Voronezh, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 5–6.
14. Skryl S.V., Spivak V.I., Shcherbakov A.V., Ponomarenko S.V. 2017. The problem of optimization of procedures for integrated technical control of information security against leakage through PEMIN channels: a concept of solution Telecommunications Moscow, Publishing House: Science and Technology LLC, 10: 23–34. (in Russian)
15. Skryl S.V., Finko V.N. Ponomarenko S.V., Volkova S.N., Ryabinin G.I. 2010. Indicator of the effectiveness of information activities of government bodies in the context of countering information leakage through technical channels. Information and Security. 13 (1): 141–142. (in Russian)

16. Khorev A.A. 2008. Tehnicheskaja zashhita informacii: T. 1. Tehnicheskie kanaly utechki informacii. [Technical information security: T. 1. Technical channels of information leakage]. M., NPC "Analytica", 436.

17. Miller D., Harris S., Harper S., VanDyke C. 2010. Security Information and Event Management (SIEM) Implementation. McGraw Hill Professional, 464 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Александров Виталий Витальевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры организации и технологии защиты информации Белгородского университета кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Малий Юлия Васильевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры организации и технологии защиты информации Белгородского университета кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Александрова Юлия Викторовна, аспирант кафедры организации и технологии защиты информации Белгородского университета кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Семенякин Александр Иванович, аспирант кафедры организации и технологии защиты информации Белгородского университета кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vitaliy V. Aleksandrov, Candidate of Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Organization and Technology of Information Security Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Yuliya V. Maliy, Candidate of Economic Science, Associate Professor of the Department of Organization and Technology of Information Security Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Yuliya V. Aleksandrova, Postgraduate student of the Department of Organization and Technology of Information Security Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Aleksandr I. Semenyakin, Postgraduate student of the Department of Organization and Technology of Information Security Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

УДК 004.89

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-123-129

Модель учебно-научного текста для разметки корпуса научно-технических текстов

Бутенко Ю.И.Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
e-mail: iubutenko@bmstu.ru

Аннотация. В статье предложена модель структуры учебно-научного текста для разметки корпуса научно-технических текстов. Обоснована необходимость учитывать композиционную структуру научно-технических текстов при разметке корпуса. Отмечено, что учебно-научные тексты имеют одинаковую для всех текстов этого класса структуру изложения материала, а также содержат ограниченный набор структурных элементов. Охарактеризованы структурные элементы учебно-научного текста. Представлена композиционная структура учебно-научных текстов в нотациях Бекуса-Наура. Предложена модель учебно-научного текста в виде графа, вершинами и ребрами которого являются полноценные структурные элементы учебно-научного текста.

Ключевые слова: структура текста, структурный элемент, модель текста, учебно-научный текст, корпус научно-технических текстов.

Для цитирования: Бутенко Ю.И. 2021. Модель учебно-научного текста для разметки корпуса научно-технических текстов. Экономика. Информатика, 48 (1): 123–129. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-123-129.

Model of educational texts for markup in a corpus of scientific and technical texts

Butenko Iu.I.Bauman Moscow State Technical University,
e-mail: iubutenko@bmstu.ru

Abstract. The article proposes a model for the structure of scholarly texts for marking up a corpus of scientific and technical texts. The article substantiates the need to take into account the composition structure of scholarly texts when marking up the corpus. The necessity of adding structural markup to the corpus of scientific and technical texts has been shown. It is noted that scholarly texts have the same for all the texts of this class, as well as contain a limited set of structural elements. The structural elements of an scholarly texts are characterized. The approximate content of each element of scholarly texts is described. The composition structure of scholarly text is presented in Bekus-Naur notation. The model of scholarly texts is proposed in the form of graph, the nodes and edges of which are full-fledged structural elements of scholarly texts. It is proved that the representation of scholarly texts in the form of a graph makes it possible to determine the type of a structural element, the degree of nesting, in the process of computer analysis of the text, by presenting the scholarly text as a finite set of its constituent parts.

Key words: text structure, structural element, text model, scholarly text, corpus of scientific and technical texts.

For citation: Butenko Iu.I. 2021. Model of educational texts for markup in a corpus of scientific and technical texts. Economics. Information technologies, 48 (1): 123–129 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-123-129.

Введение

Отличительной особенностью современного мира является накопление огромного фонда различной информации, большая часть которой хранится в электронном виде. Одними из наиболее представительных информационных ресурсов текстов можно назвать электронные корпуса текстов [Захаров, 2015; Кружков, 2015]. Для описания подязыка определенной предметной области необходимо использование специальных корпусов узкоспециальных текстов – корпусов научно-технических текстов, так как общие корпуса не подходят для изучения определенных предметных областей в силу их большого объема, разнообразного материала, а также отсутствия специальной терминологии [Нагель, 2008].

Электронный корпус представляет собой коллекции текстов и их разметку, зависящую от типа исследования или задачи, для решения которой они созданы [Соловьева, 2019]. Разметка позволяет сделать корпус гораздо удобнее в использовании и является главной отличительной особенностью корпуса по сравнению с любыми другими коллекциями текстов. Таким образом, создание корпуса научно-технических текстов предполагает наличие лингвистической разметки, которая описывает сугубо лингвистические характеристики языковой выборки корпуса и представляет собой сложный процесс, требующий длительной и кропотливой работы над каждой лексической единицей, представленной в корпусе. Лингвистическая разметка обычно включает в себя разметку морфологическую, синтаксическую, семантическую [Лесников, 2019].

Одним из ключевых аспектов проектирования корпусов является также метаразметка текстов – процесс приписывания тексту различных характеристик, описывающих обстоятельства его создания, автора, соотносимость с определенным жанром и стилем изложения [Ванюшкин, Гращенко, 2018]. Основное назначение метаразметки – дать возможность пользователям корпуса настроить внешние параметры поиска текстов: например, осуществлять поиск по текстам, созданным авторами определенного года рождения, страны происхождения, гендерной принадлежности. Метаразметка содержит основную информацию о каждом тексте, включенном в корпус.

Стоит отметить, что научно-технические тексты обладают рядом специфических особенностей, которые требуют использования дополнительных видов разметки. К таким особенностям следует отнести композиционную структуру научно-технических текстов, которая может оказывать существенное влияние на результаты их автоматической обработки [Бутенко, Семенова, 2019]. Наличие структурной разметки научно-технических текстов позволит не только отбирать для исследования только определенные структурные компоненты научно-технического текста, например, введения или определенные главы или фрагменты текста, но исключать «лишние» для решаемой задачи элементы, например, список литературы, благодарности, предисловие и т. д. [Бутенко, 2020].

К источникам текстов, обеспечивающих репрезентативность корпуса научно-технических текстов, следует отнести учебно-научные тексты, представленные учебниками, учебными пособиями, конспектами лекций и пр.

Целью статьи является построение модели учебно-научного текста для структурной разметки корпуса научно-технических текстов.

Композиционные особенности учебно-научного текста

Под учебно-научным текстом принято понимать книгу, в которой систематически изложены основы знаний в определенной предметной области на уровне современных достижений науки и техники [Егоров и др., 2008]. К учебно-научным текстам выдвигают такие же требования, как и к научным текстам, а именно: логичность, краткость, ясность, последовательность изложения материала, абстрактность [Тюрина, 2007]. В работе [2005] Тюрина Л.Г. описывает педагогическую модель учебной книги, в которой выделяет три подсистемы: предметную, дидактическую и аксиологическую. Связь между подсистемами представлена следующим образом: сначала излагается вербально или наглядно система знаний (предмет-

ная подсистема) о некоторой предметной области, затем идут материалы, формирующие необходимые навыки и умения – вопросы, задания, упражнения (дидактическая подсистема). При этом элементы двух указанных подсистем строятся с учетом мировоззренческого, воспитательного воздействия на читателя – аксиологическая подсистема.

Стоит отметить, что композиционная структура учебно-научного текста также отражает выше описанную модель и включает в себя текст, как главный компонент, так и внетекстовые, вспомогательные компоненты, к которым относят аппарат организации усвоения (вопросы и задания, памятки или инструктивные материалы, таблицы и шрифтовые выделения, подписи к иллюстративному материалу и упражнения); собственно иллюстративный материал; аппарат ориентировки, включающий предисловие, примечание, приложения, оглавление, указатели [Рыбакова, 2011]. Структура учебно-научного текста показана на рис. 1. Как видно из рисунка, учебно-научные тексты имеют сложную многокомпонентную структуру.



Рис. 1. Структура учебно-научного текста по любой предметной области

Fig. 1. Structure of scholarly texts in a subject field

При реализации структурной разметки корпуса научно-технических текстов необходимо проанализировать каждый компонент учебно-научного текста с целью определения оптимальных вариантов их разметки. Например, необходимость включения текстов упражнений в основную часть корпуса, так как при составлении упражнения могут быть использованы разные предметные области или их комбинации, при этом исследуемая предметная область в силу специфики не будет отражена. Ярким примером могут служить учебники и учебные пособия по научно-техническому переводу, где тематика текстов упражнений зачастую кардинально отличаются от предмета содержания учебно-научного текста.

В результате анализа композиционной структуры учебно-научных текстов выявлено, что они имеют ярко выраженную структуру, содержат определенный набор элементов, за каждым из которых закреплено свое место в тексте документа.

Формальная модель учебно-научных текстов для представления в корпусе научно-технических текстов

В качестве исходных данных выступают результаты композиционного анализа учебно-научных текстов, полученные в предыдущем разделе. Для решения задачи необходимо разработать формальные средства композиционной структуры учебно-научных текстов, использование которых позволит осуществлять структурную разметку в корпусе научно-технических текстов. В результате будет получена модель формального представления учебно-научных текстов, которая даст возможность при разметке корпуса научно-технических текстов учитывать их композиционную структуру.

Композиционная структура учебно-научного текста в первом приближении состоит из реферативного раздела, корпуса научно-технической статьи и информативного раздела. При этом структурные элементы научно-учебных текстов можно разделить на обязательные и факультативные, то есть те, которые приводятся в зависимости от необходимости. К обязательным элементам относят название, автор(ы), оглавление, введение, основной текст и ссылки на источники. Несмотря на то, что название и авторы являются элементами метатекстовой разметки, они также несут значимую информацию при автоматической обработке научно-технических текстов и являются полноценными объектами лингвистического исследования.

Оглавление является важным элементом учебно-научного текста, дающим общее представление о структуре и проблематике учебного пособия, отражает взаимосвязи всех компонентов учебника и является средством навигации по научно-учебному тексту. Если у разных разделов учебника разные авторы, то вместо структурного элемента «Оглавление» используют элемент «Содержание» [Лыков, 2008]. Введение в учебно-научном тексте обычно представляет читателю информацию о текущем состоянии проблем и явлений в некоторой предметной области, обзор взглядов и литературных источников, базовую терминологию и др. Основной текст раскрывает содержание, обеспечивает последовательное, полное и аргументированное изложение материала и служит основным источником учебно-научной информации, обязательной для изучения и усвоения. Структурный элемент «Ссылки на источники» содержит основные или рекомендуемые литературные источники для углубленного или самостоятельного изучения определенных тем некоторой предметной области.

К факультативным структурным элементам учебно-научных текстов относят «Предисловие», «Вопросы», «Задания и упражнения», «Примечания» и «Приложения». Предисловие представляет собой текст, предваряющий изложение основного материала, содержит цель и особенности издания, отражает структуру и краткую характеристику всех разделов. В зависимости от типа литературы и вида издания выделяют ряд разновидностей «Предисловия»: «От автора», «От редактора», «Вместо предисловия» и др. Структурные элементы «Вопросы» и «Задания и упражнения» относят к аппарату организации усвоения материала, призванные стимулировать познавательную деятельность в процессе усвоения материала. Структурный элемент «Примечания» являются краткими дополнениями, пояснениями и уточнениями к основному учебно-научному тексту, бывают внутритекстовые, подстрочные и затекстовые. Авторы используют этот структурный элемент с целью дополнения основного учебно-научного текста [Лупачев, Павлюк, 2011]. В «Приложения» включают материал, служащий дополнением основного текста, куда входят официальные и справочные материалы – таблицы, схемы, словари, чертежи, списки, вклейки, иллюстрации, карты, рисунки.

В нотациях Бекуса-Наура композиционную структуру учебно-научных текстов можно задать следующим образом:

$$St_i ::= \langle X^1, X^2, X^3 \rangle,$$

где X^1 – реферативный раздел учебно-научного текста, X^2 – корпус учебно-научного текста, X^3 – информативный раздел научно-учебного текста.

X^1 – реферативный раздел учебно-научного текста, состоящий из следующих элемен-

ТОВ:

$$X^1 ::= \langle x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15} \rangle | \langle x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14} \rangle,$$

где x_{11} – название, x_{12} – автор(ы), x_{13} – оглавление, x_{14} – введение, x_{15} – предисловие.

X^2 – корпус учебно-научного текста, который можно представить в виде набора из следующих элементов:

$$X^2 ::= \langle x_{21}, x_{22}, x_{23} \rangle | \langle x_{21}, x_{22} \rangle | \langle x_{21}, x_{23} \rangle | \langle x_{21} \rangle,$$

где x_{21} – основной текст, x_{22} – вопросы, x_{23} – задания и упражнения.

X^3 – информативный раздел учебно-научного текста, для которого справедливо

$$X^3 ::= \langle x_{31}, x_{32}, x_{33} \rangle | \langle x_{31}, x_{33} \rangle | \langle x_{32}, x_{33} \rangle | \langle x_{33} \rangle,$$

где x_{31} – примечания, x_{32} – приложения, x_{33} – ссылки на источники.

На рис. 2 представлена полученная структурная схема элементов учебно-научного текста.

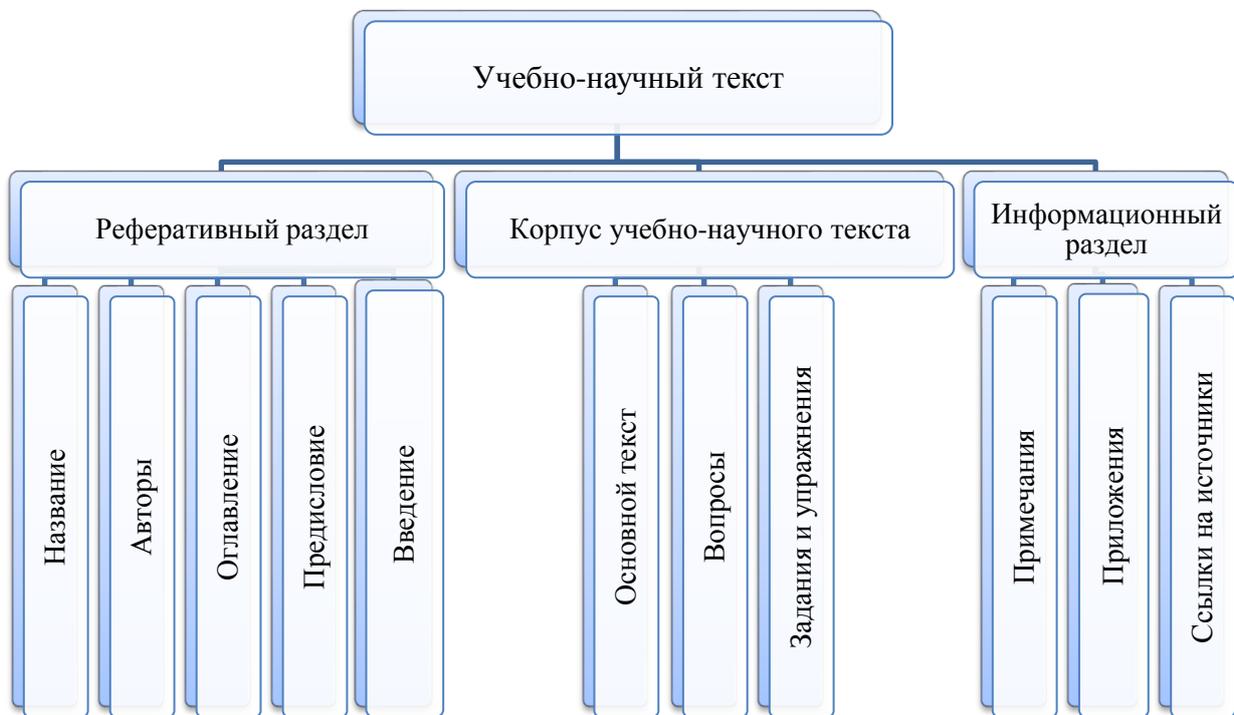


Рис. 2. Структурные элементы учебно-научных текстов
 Fig. 2. Structure of scholarly texts in a subject field

На основе проведенного анализа композиционной структуры учебно-научных текстов модель учебно-научного текста St целесообразно представить в виде:

$$St = \langle E^L, R \rangle,$$

где E – структурный элемент, R – отношения между структурными элементами, L – уровень структурного элемента. При этом $L = \{l_1, \dots, l_5\}$, где l_1 – раздел, l_2 – пункт, l_3 – подпункт, l_4 – абзац, l_5 – предложение.

Представление текста в виде упорядоченного набора структурных элементов дает возможность анализировать с помощью математических методов как вероятностную, так и логическую структуру всего учебно-научного текста. Таким образом, модель композиционной структуры учебно-научного текста – это граф, вершинами и ребрами которого являются только полноценные единицы – разделы, пункты, подпункты, то есть наиболее значимые структурные элементы. Наличие структурной разметки учебно-научных текстов при созда-

нии корпуса научно-технических текстов значительно расширит исследовательский потенциал корпуса, что в свою очередь позволит при разработке систем обработки естественного языка учитывать композиционные особенности научно-технических текстов в целом и их отдельных структурных компонентов в частности.

Заключение

В настоящее время для описания подязыка определенной предметной области необходимо использование специальных корпусов узкоспециальных текстов – корпусов научно-технических текстов. К источникам текстов для корпуса научно-технических текстов отнесены учебно-научные тексты. Показано, что электронный корпус представляет собой коллекции текстов и их разметку: морфологическую, синтаксическую, семантическую, метаразметку. Выявлено, научно-технические тексты обладают рядом специфических особенностей в композиционной структуре. Научно-техническая статья – это первичный письменный жанр научного дискурса, задачей которого является постановка и решение одной научной проблемы, имеет средний объем, конвенциональную структуру, системы ссылок и выходные данные. Учебно-научным текстам присущи все стилевые особенности научного стиля: точность, логичность изложения материала, эмоциональная нейтральность, наличие специальной терминологии. Композиционная структура учебно-научного текста состоит из реферативного раздела, корпуса научно-технической статьи и информативного раздела. К ключевым элементам структуры учебно-научных текстов с точки зрения их функциональных и лексико-грамматических особенностей относят: название, информацию об авторах, введение, основной текст и список источников. Композиционная структура учебно-научных текстов задана в нотациях Бекуса-Наура. Построена модель учебно-научного текста для структурной разметки в корпусе научно-технических текстов, которая порождает дальнейшую возможность анализировать с помощью математических методов как вероятностную, так и логическую структуру всего исследуемого текста в целом.

Список литературы

1. Бутенко Ю.И. 2020. Модель текста стандарта при информационном поиске в коллекции документов нормативной базы. Вестник компьютерных и информационных технологий, 17 (11): 23–32. DOI: 10.14489/vkit. 2020.11.pp.023-032.
2. Бутенко Ю.И., Семенова Е.Л. 2019. Влияние лингвистических особенностей текстов стандартов на информационный поиск. Филологические науки. Научные доклады высшей школы, 6: 29-35. DOI: 10.20339/PhS.6-19.029.
3. Ванюшкин А.С., Гращенко Л.А. 2018. О разметке корпусов текстов ключевыми словами. Новые информационные технологии в автоматизированных системах, 21: 207–211.
4. Егоров В.В., Скибицкий Э.Г., Храпченков В.Г. 2008. Педагогика высшей школы. Новосибирск. САФБД: 260.
5. Захаров В. П. 2015. Корпуса русского языка. Труды института русского языка имени В.В. Виноградова, 6: 20–65.
6. Кружков М.Г. 2015. Информационные ресурсы контрастивных лингвистических исследований: электронные корпуса текстов. Системы и средства информатики, 25 (2): 140–159.
7. Лесников В.С. 2019. Виды разметок текстовых корпусов русского языка. Научно-техническая информация. Серия 2. Информационные процессы и системы, 9: 27–30.
8. Лупачев В.Г., Павлюк С.К. 2011. Методические основы и принципы разработки учебной литературы: методическое пособие для слушателей курсов повышения квалификации и переподготовки кадров; под ред. В.А. Сидорова. Минск. БНТУ: 63.
9. Лыков М.Н. 2008. Оглавление как структурный элемент вузовского учебника (на примере учебника по истории отечества для высшей школы). Альманах современной науки и образования, 10-1 (17): 102–105.
10. Нагель О.В. 2008. Корпусная лингвистика и ее использование в компьютеризированном языковом обучении. Язык и культура, 4: 53–59.

11. Рыбакова Г.Р. 2011. О категории «учебный текст» в научной литературе. Научное обозрение. Серия 2: Гуманитарные науки, 6: 64–73.
12. Соловьева А.Е. 2019. Англоязычные тексты военной авиации как основа лингвистического корпуса. Балтийский гуманитарный журнал, 3 (28): 369–372.
13. Тюрина Л.Г. 2007. Особенности текста учебной книги. Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела, 3: 70–73.
14. Тюрина Л.Г. 2005. Состав и структура учебной книги как педагогической системы. Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела, 4: 78–88.

References

1. Butenko Ju.I. 2020. Model of the text of the standard in the information search in the collection of documents of the normative base. Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh tehnologij. 17 (11): 23–32. DOI: 10.14489/vkit. 2020.11.pp.023-032 (in Russian)
2. Butenko Ju.I., Semenova E.I. 2019. Influence of linguistic features of standards texts on information retrieval. Filologicheskie nauki. Nauchnye doklady vysshej shkoly, 6: 29–35. DOI: 10.20339/PhS.6-19.029 (in Russian)
3. Vanyushkin A.S., Grashchenko L.A. 2018. On keyword markup of corpora of texts. Novye informacionnye tehnologii v avtomatizirovannyh sistemah, 21: 207–211. (in Russian)
4. Egorov V.V., Skibitsky E.G., Khrapchenkov V.G. 2008. Pedagogy of higher school. Novosibirsk. SAFBD: 260. (in Russian)
5. Zakharov V.P. 2015. Corpus of the Russian language. Trudy instituta russkogo jazyka imeni V.V. Vinogradova, 6: 20–65. (in Russian)
6. Kruzhkov M.G. 2015. Information resources of contrastive linguistic research: electronic corpus of texts. Systems and Means of Informatics, 25 (2): 140–159. (in Russian)
7. Lesnikov V.S. 2019. Types of markings of text corpora of the Russian language. Nauchno-tehnicheskaja informacija. Serija 2. Informacionnye processy i sistemy, 9: 27–30. (in Russian)
8. Lupachev V.G., Pavlyuk S.K. 2011. Methodological Principles and Principles of Developing Educational Literature: Methodological Handbook for Students' Professional Development and Retraining Courses, ed. by V.A. Sidorov. Minsk. BNTU: 63. (in Russian)
9. Lykov M.N. 2008. Table of contents as a structural element of a university textbook (by the example of a textbook on the history of the Fatherland for high school). Al'manah sovremennoj nauki i obrazovaniya, 10-1 (17): 102–105. (in Russian)
10. Nagel O.V. 2008. Corpus linguistics and its use in computerized language teaching. Language and Culture, 4: 53–59. (in Russian)
11. Rybakova G.R. 2011. On the category of "learning text" in scientific literature. Scientific Review. Series 2: Humanities, 6: 64–73. (in Russian)
12. Solovyova A.E. 2019. English-language military aviation texts as the basis of a linguistic corpus. Baltijskij gumanitarnyj zhurnal, 3 (28): 369–372. (in Russian)
13. Tyurina L.G. 2007. Peculiarities of the text of a textbook. Izvestia vyssheye izuchennykh uchebnykh obrazovatel'nykh. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela, 3: 70–73. (in Russian)
14. Tyurina L.G. 2005. Composition and structure of an educational book as a pedagogical system. Izvestia vyssheye uchebnykh obrazovaniye. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela, 4: 78–88. (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Бутенко Юлия Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической информатика и компьютерных технологий Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Iuliia I. Butenko, Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Department Theoretical Informatics and Computer Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

УДК 614.254.1:004.415

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-130-141

Информационная технология оперативного определения жизнеугрожающих состояний сердечно-сосудистой системы

Муромцев В.В., Никитин В.М., Ефремова О.А., Камышникова Л.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: muromtsev@bsu.edu.ru, nikitin@bsu.edu.ru, efremova@bsu.edu.ru, kamyshnikova@bsu.edu.ru

Аннотация. В работе рассматриваются модели потоков данных и этапы цифровой обработки сигналов в мобильном устройстве оперативного определения жизнеугрожающих состояний сердечно-сосудистой системы. Устройство считывает сигналы ЭКГ пациента и анализирует различные виды аритмий сердца. При обнаружении жизнеугрожающего состояния устройство формирует сообщение пациенту и передает данные ЭКГ на компьютер врача. Особенностью данного устройства является его персонификация и применение надежного выявления комплексов QRS за счет использования алгоритма анализа формы сигнала, основанного на методе Dynamic time warping.

Ключевые слова: сердечно-сосудистые заболевания, ЭКГ, цифровая обработка сигналов, мобильное устройство, комплекс QRS, метод DTW.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 18-413-310002.

Для цитирования: Муромцев В.В., Никитин В.М., Ефремова О.А., Камышникова Л.А. 2021. Информационная технология оперативного определения жизнеугрожающих состояний сердечно-сосудистой системы. Экономика. Информатика, 48 (1): 130–141. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-130-141.

The information technology for rapid determination life-threatening states of the cardiovascular system

Viktor V. Muromtsev, Valeriy M. Nikitin, Olga A. Efremova, Lyudmila A. Kamyshnikova

Belgorod National Research University,

85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: muromtsev@bsu.edu.ru, nikitin@bsu.edu.ru, efremova@bsu.edu.ru, kamyshnikova@bsu.edu.ru

Abstract. The paper examines data flow models and stages of digital signal processing in a mobile device for the operational determination of life-threatening conditions of the cardiovascular system. The device records the patient's signal electrocardiography (ECG) and analyzes various types of cardiac arrhythmias. When a life-threatening condition is detected, the device generates a message to the patient and transmits ECG data to the doctor's computer. A feature of this device is its personification and the reliability of the capabilities of the QRS complexes. Reliability is due to the fact that, in addition to approaches to the construction of digital signal processing algorithms, QRS comparison methods are also used, algorithms for comparing selected complexes with templates are used. An algorithm based on the dynamic time warping (DTW) method to analyze the shape QRS complex is used. If all the specified patterns are at a great distance from the highlighted QRS complex, then it is considered that this complex was highlighted in error. The DTW method is widely used for processing audio signals, in this context, its use is new.

Keywords: cardiovascular diseases, ECG, digital signal processing, mobile device, QRS complex, DTW method.

Acknowledgements: the study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, project No 18-413-310002.

For citation: Muromtsev V.V., Nikitin V.M., Efremova O.A., Kamyshnikova L.A. 2021. The information technology for rapid determination life-threatening states of the cardiovascular system. *Economics. Information technologies*, 48 (1): 130–141 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-130-141.

Введение

Одной из причин высокой смертности от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) является то, что часто эти заболевания протекают бессимптомно, или люди не оценивают высокий риск кардиологической патологии, не могут почувствовать момент появления жизнеугрожающего состояния своей сердечно-сосудистой системы (ССС). Например, такое состояние может возникнуть при выполнении физической нагрузки. В этом случае человек должен срочно прекратить нагрузку и принять рекомендованные врачом лекарственные средства. Если человек не почувствовал опасности, неправильно оценил свое состояние и продолжил выполнять физическую нагрузку, то это может привести к развитию жизнеугрожающего состояния и к смерти.

Таким образом, задача оперативного определения жизнеугрожающих состояний ССС актуальна. Эта задача может быть решена путем разработки микропроцессорных мобильных устройств для пациента, имеющих связь с компьютером врача и выполняющих следующие функции:

- автоматическое раннее выявление жизнеугрожающих состояний;
- оперативное информирование пациента и врача о возникновении жизнеугрожающего состояния;
- оперативное информирование пациента о его действиях для устранения возникшего жизнеугрожающего состояния;
- передача информации о состоянии ССС пациента лечащему врачу с целью ее дальнейшего анализа.

В настоящее время хорошо проработаны различные подходы к построению таких устройств и разработаны алгоритмы, использующиеся в этих устройствах [Петров и др., 2014; Рослякова, Чупраков, 2012; Choi, 2016; Sandau, 2017; Surawicz, Knilans, 2008]. Многие устройства реализованы и используются на практике [Ansari, et. al., 2017; Fernandez Biscay, et. al., 2020; Steinhubl, et. al., 2018]. Как правило, такие устройства считывают данные о пульсовой волне и/или электрокардиограмме (ЭКГ). Потом считанные данные анализируются с целью определения жизнеугрожающего состояния ССС пациента. При обнаружении такого состояния формируются сообщения пациенту и врачу.

Анализ данных может осуществляться либо в мобильном устройстве, либо на компьютере врача. Преимущество второго варианта состоит в том, что для анализа данных, как правило, используется мощный стационарный компьютер врача, что гарантирует более качественные выводы о состоянии ССС пациента. Однако в этом случае требуется наличие надежного высокоскоростного канала связи между мобильным устройством пациента и компьютером врача, что не всегда возможно.

Данный недостаток отсутствует при использовании пациентом мобильного устройства, которое само осуществляет анализ данных. С развитием микропроцессорной техники таких устройств становится все больше. Эти устройства не требуют постоянной связи с компьютером врача. Определение жизнеугрожающего состояния и формирование сообщений осуществляет мобильное устройство. Также на этом устройстве сохраняются считанные данные ЭКГ. Эти данные могут передаваться на удаленный компьютер при возникновении жизнеугрожающего состояния, по запросу врача и т. д.

В работе рассматривается подход к построению мобильного устройства пациента, которое получает информацию о состоянии его ССС с датчиков ЭКГ. Сигналы с датчиков оцифровываются и подлежат цифровой обработке, целью которой является выделение комплексов QRS. Далее информация о выделенных комплексах QRS используется для обнаружения различных видов аритмий сердца:

- тахикардия – состояние, при котором частота пульса превышает заданную границу (90 ударов в минуту);
- брадикардия – частота пульса меньше заданной границы (60 ударов в минуту);
- пароксизмальные нарушения ритма – внезапно возникшее состояние (приступ), при котором появляется крайне частое сердцебиение (ритмичное или неритмичное) с частотой, превышающей 150–200 ударов в минуту;
- экстрасистолия – в правильный ритм сердечных сокращений вплетается преждевременное сокращение. В норме у здорового человека могут быть единичные экстрасистолы, не требующие лечения и не влияющие на самочувствие. Допустимым считается количество экстрасистол не более 30 в час, до 5 в мин. Статистической «нормой» экстрасистол считается примерно до 200 наджелудочковых экстрасистол и до 200 желудочковых экстрасистол в сутки.
- мерцательная аритмия – характерны быстрая смена частоты и регулярности сердечного ритма или резкое его замедление. Выявляется путем анализа максимального и минимального интервала между пульсовыми волнами.

В работе не рассматриваются вопросы технической реализации устройства и алгоритмы обнаружения аритмии. Рассматриваются только модели потоков данных и вопросы цифровой обработки сигналов (ЦОС) ЭКГ в мобильном устройстве с целью выделения комплексов QRS. Особенности данного устройства являются:

1) Персонализация устройства, которая достигается тем, что алгоритмы, осуществляющие выявление жизнеугрожающих состояний ССС, основаны на информации, введенной врачом для конкретного пациента. Для каждого пациента и анализируемого вида аритмии врач задает допустимую нижнюю и/или верхнюю границу и сообщение для пациента. Таким образом, информирование пациента о его действиях для устранения жизнеугрожающего состояния основано на данных, введенных врачом для конкретного пациента для каждого из возможных жизнеугрожающих состояний.

2) Надежность выявления комплексов QRS за счет использования алгоритма анализа формы сигнала.

Модели потоков данных

Модели потоков данных представим с помощью диаграмм потоков данных (Data flow diagramming, DFD). Данные диаграммы моделируют систему как набор действий, соединенных друг с другом стрелками [Черемных и др., 2001]. Для создания DFD будем использовать MS Visio [Visio, 2020]. На рис.1 представлены потоки данных между мобильным устройством и компьютером врача. На компьютере врача ведется база данных (БД) пациентов, в которой сохраняется информация о пациентах, персональные настройки их мобильных устройств, считанные ЭКГ и др.

Мобильное устройство пациента содержит три хранилища данных. В первом хранятся параметры оцифровки и обработки сигнала ЭКГ. К этой информации относятся: частота дискретизации сигнала ЭКГ, параметры фильтров и др. Эта информация является стабильной и может быть сохранена в устройстве при его первоначальном программировании. Во втором хранилище сохраняются персональные настройки [Ефремова и др., 2016]. Эту информацию задает врач исходя из индивидуальных особенностей пациента. Персональные настройки сохраняются в БД пациентов на компьютере врача и передаются на мобильное устройство пациента при его настройке. В третьем хранилище мобильного устройства накапливаются данные ЭКГ. Эти данные передаются на компьютер врача при возникновении жизнеугрожающей ситуации и сохраняются в БД пациентов. Также возможно организовать передачу данных ЭКГ по запросу врача, по истечении некоторого временного периода, при улучшении качества связи и т. д. (на диаграмме на рис. 1 не показано).

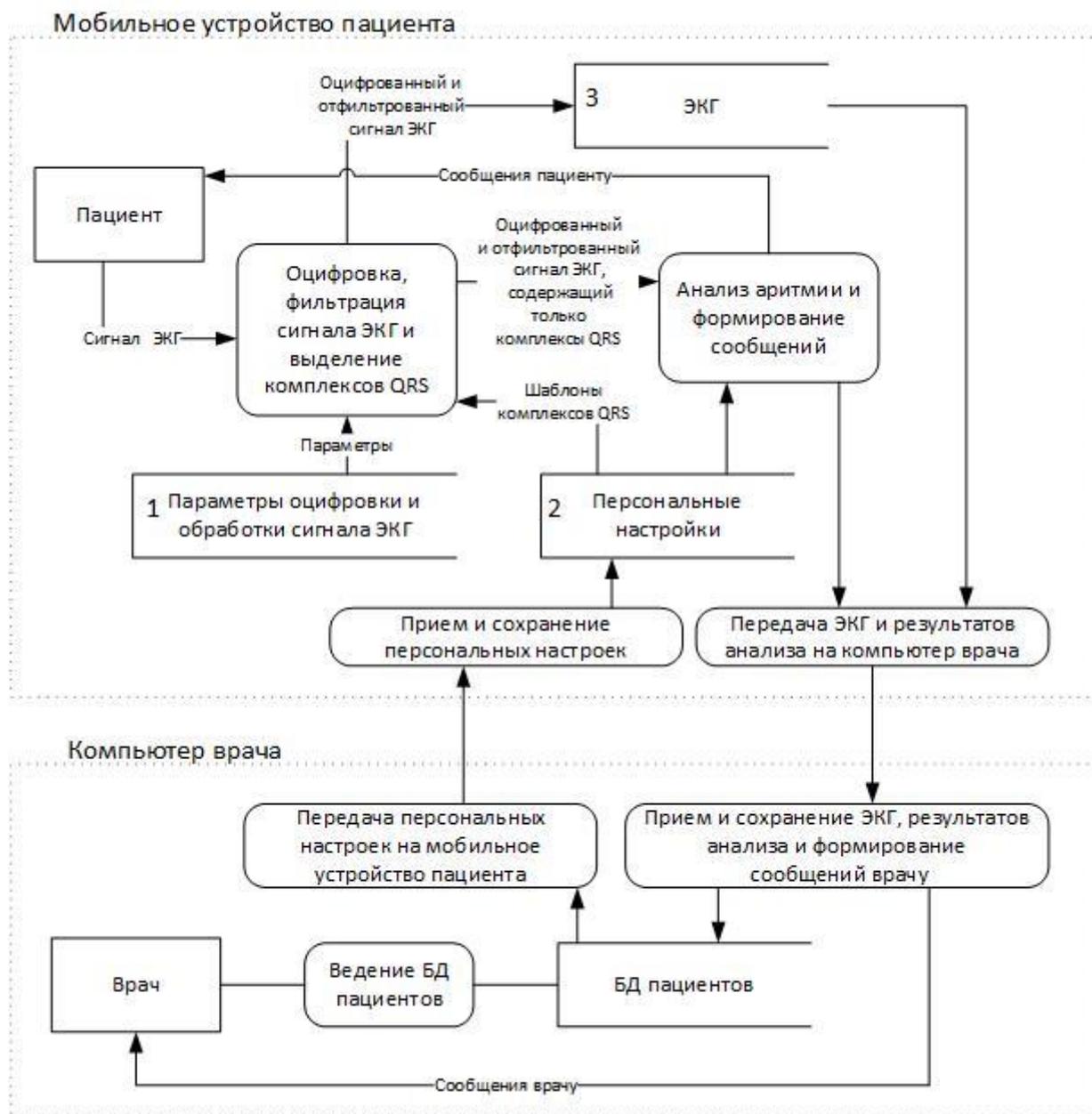


Рис. 1. Диаграмма потока данных
Fig. 1. Data flow diagram

Рассмотрим более детально блок «Оцифровка, фильтрация сигнала ЭКГ и выделение комплексов QRS». Детализация этого блока представлена на рис. 2. Считанный сигнал ЭКГ вначале оцифровывается с частотой дискретизации, заданной в первом хранилище мобильного устройства. Далее сигнал фильтруется с помощью фильтров высоких и низких частот (ФВЧ и ФНЧ). Параметры фильтров также поступают из первого хранилища. Отфильтрованный сигнал ЭКГ передается в третье хранилище и на выделение комплексов QRS. Процесс выделения комплексов QRS состоит из следующих действий: дифференцирование, возведение в квадрат, интегрирование, выделение комплексов QRS, сравнение выделенных комплексов QRS с шаблонами. Шаблоны QRS поступают из второго хранилища.

Далее детально рассмотрим перечисленные этапы ЦОС ЭКГ и примеры сигналов в точках А–Ж, см. рис. 2.

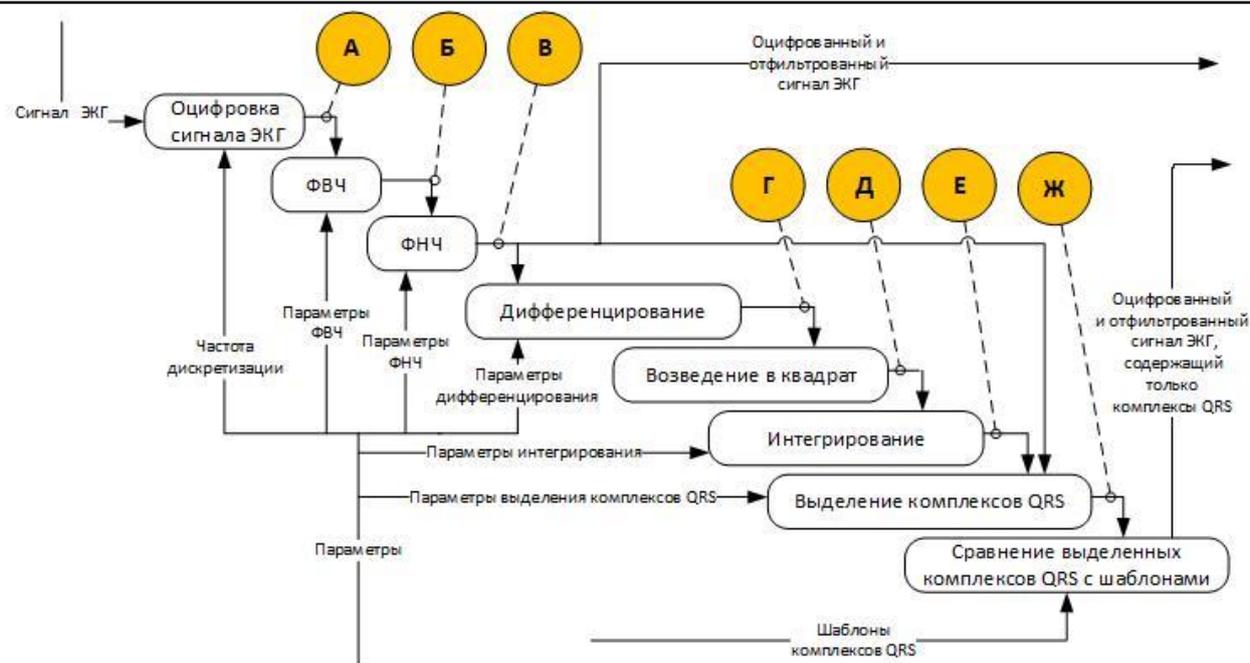


Рис. 2. Декомпозиция блока «Оцифровка, фильтрация сигнала ЭКГ и выделение комплексов QRS»
 Fig. 2. Decomposition of the block "Digitization, filtering of the ECG signal and the selection of QRS complexes"

Этапы ЦОС ЭКГ

Сигнал считывается и оцифровывается порциями одинаковой длительности. Длительность порции составляет $n \cdot \frac{1}{f_d}$ секунд, где n – число отсчетов сигнала, f_d (Гц) – частота дискретизации. Пусть оцифрованный сигнал сохраняется в последовательности $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, где X_i – цифровое значение амплитуды сигнала в момент времени, отстоящий от начала считывания порции на $i \cdot \frac{1}{f_d}$ секунды.

Пример оцифрованного электрокардиосигнала представлен на рис. 3. Для проведения экспериментов данные ЭКГ взяты из банка PhysioBank [PhysioBank, 2020]. Для обработки сигналов использовалась среда LabVIEW [LabVIEW, 2020]. В данном случае $f_d = 200$ Гц, разрядность АЦП равна 12, $n=880$.

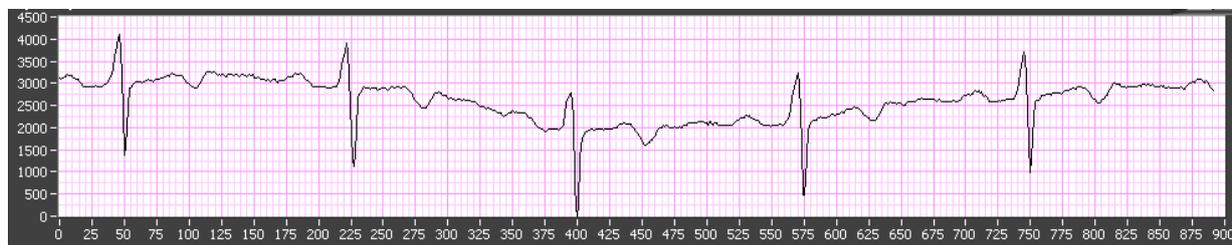


Рис. 3. Оцифрованный электрокардиосигнал (сигнал в точке А на рис. 2)
 Fig. 3. Digitized electrocardiosignal (signal at point A in Fig. 2)

Оцифрованный электрокардиосигнал X подвергается фильтрации с целью подавления разного рода помех (дрейф изолинии, артефакты движения и т. д.). В результате формируется цифровой сигнал $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$.

Вначале электрокардиосигнал X фильтруется с помощью ФВЧ. Используется фильтр Баттерворта второго порядка. Частота среза фильтра подбирается таким образом, чтобы сглаживался дрейф изолинии. Результат фильтрации сохраняется в последовательности $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$. Параметры ФВЧ хранятся в первом хранилище данных (см. рис. 1, 2).

Пример сигнала, полученного в результате фильтрации электрокардиосигнала X с помощью ФВЧ, представлен на рис. 4. Использовался фильтр, заданный уравнением:

$$W_i = a_0 \cdot X_i + a_1 \cdot X_{i-1} + a_2 \cdot X_{i-2} - b_1 \cdot W_{i-1} - b_2 \cdot W_{i-2},$$

где $a_0 = 0,9733$, $a_1 = -1,9466$, $a_2 = 0,9733$, $b_1 = -1,9461$, $b_2 = 0,9470$.

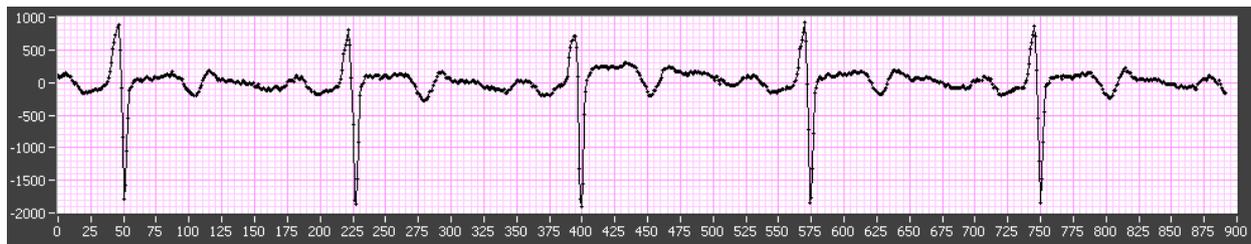


Рис. 4. Сигнал ЭКГ после ФВЧ (сигнал в точке В на рис.2)

Fig. 4. ECG signal after HPF (signal at point B in Fig. 2)

Далее сигнал фильтруется с помощью ФНЧ. Используется фильтр Баттерворта второго порядка. Частота среза подбирается таким образом, чтобы фильтр снижал влияние высокочастотных импульсных помех и не оказывал существенного влияния на форму QRS-комплекса. Основные частотные составляющие QRS-комплекса лежат в диапазоне 1–25 Гц. Результат фильтрации сохраняется в последовательности $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$. Параметры ФНЧ хранятся в первом хранилище данных (см. рис. 1, 2).

Пример сигнала, отфильтрованного с помощью ФНЧ, представлен на рис. 5. Использовался фильтр, заданный уравнением:

$$Y_i = a_0 \cdot W_i + a_1 \cdot W_{i-1} + a_2 \cdot W_{i-2} - b_1 \cdot Y_{i-1} - b_2 \cdot Y_{i-2},$$

где $a_0 = 0,0633$, $a_1 = 0,1266$, $a_2 = 0,0633$, $b_1 = -1,0722$, $b_2 = 0,3253$.

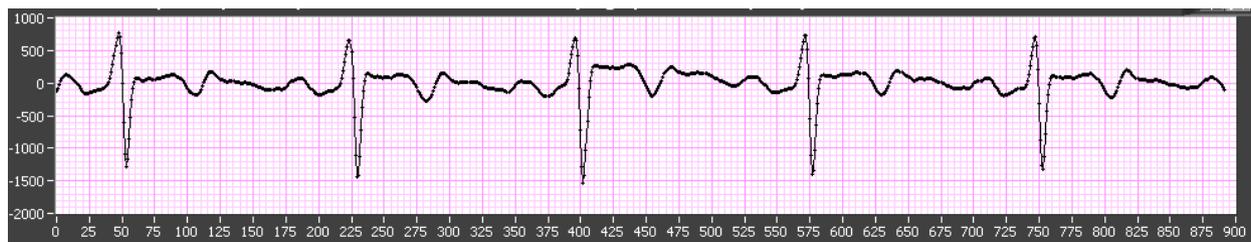


Рис. 5. Сигнал ЭКГ после ФНЧ (сигнал в точке В на рис. 2)

Fig. 5. ECG signal after LPF (signal at point B in Fig. 2)

Далее в полученном сигнале ЭКГ выделяются комплексы QRS. За основу взят алгоритм, рассмотренный в [Обухов, Степанов, 2019], который в свою очередь основывается на алгоритме Пана-Томпкинса [Pan, Tompkins, 1985]. Вначале производится дифференцирование сигнала (см. рис. 2). Это действие подавляет низкочастотные компоненты в ЭКГ, связанные с зубцами Р и Т, и усиливает высокочастотные компоненты, связанные с комплексом QRS. Результат вычисления производной сохраняем в последовательности W . Параметры дифференцирования хранятся в первом хранилище данных (см. рис. 1, 2).

Пример производной ЭКГ представлен на рис. 6. Производная рассчитывалась по следующей формуле:

$$W_i = \frac{1}{8}(2 \cdot Y_n + Y_{n-1} - Y_{n-3} - 2 \cdot Y_{n-4}).$$

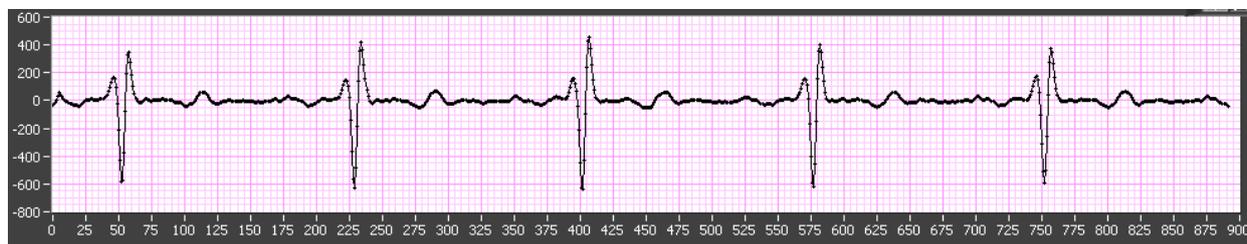


Рис. 6. Производная ЭКГ (сигнал в точке Г на рис.2)

Fig. 6. ECG derivative (signal at point G in fig. 2)

Далее результат дифференцирования возводится в квадрат. Такое действие делает результат положительным, еще больше подавляет низкочастотные компоненты в сигнале, связанные с зубцами Р и Т и усиливает высокочастотные компоненты, связанные с комплексом QRS. Квадрат производной W , полученной на предыдущем шаге, сохраняем в той же последовательности, $W_i = W_i^2$.

Пример квадрата производной представлен на рис. 7.

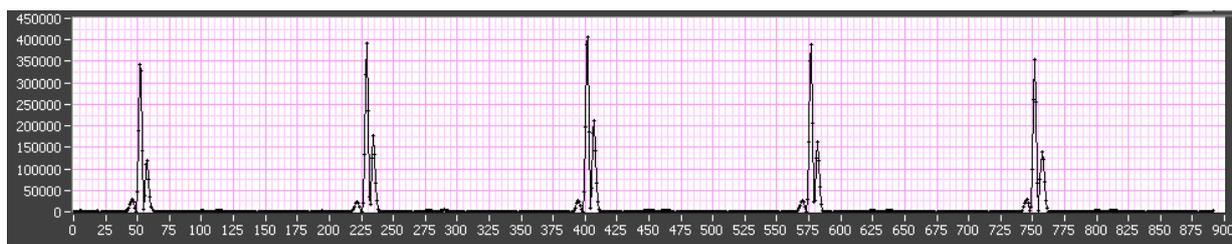


Рис. 7. Квадрат производной ЭКГ (сигнал в точке Д на рис. 2)

Fig. 7. The square of the ECG derivative (signal at point D in fig. 2)

Следующим действием является интегрирование. Задачей интегрирования является сглаживание сигнала W , полученного на предыдущем шаге.

Сглаживание сигнала осуществляется за счет интегрирующего фильтра типа скользящего окна:

$$Y_i = \frac{1}{h}(W_{i-(h-1)} + W_{i-(h-2)} + \dots + W_i).$$

Параметры интегрирования хранятся в первом хранилище данных (см. рис. 1, 2). Ширина окна h выбирается исходя из следующих соображений:

- слишком большая ширина приведет к тому, что выходные сигналы, связанные с комплексом QRS и зубцом Т, будут сливаться;
- слишком маленькая ширина приведет к нескольким пикам для единственного QRS-комплекса.

Пример сигнала после интегрирующего фильтра представлен на рис. 8. В данном примере была выбрана ширина окна $h = 30$:

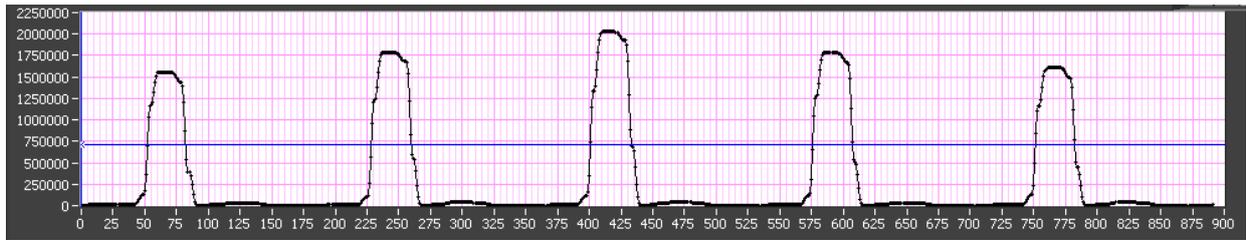


Рис. 8. Результат интегрирования квадрата производной (сигнал в точке E на рис.2)
 Fig. 8. The result of integrating the square of the derivative (signal at point E in fig. 2)

Для решения задачи выделения комплексов QRS вначале формируется пороговая функция $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$:

$$W_i = \begin{cases} 1, & \text{если } Y_i \geq p \\ 0, & \text{если } Y_i < p \end{cases}$$

Здесь Y – сигнал после интегрирующего фильтра, p – порог, $p = \min \cdot \eta_1$, \min – минимальная высота зубца в сигнале Y , $0 < \eta_1 \leq 1$ – пороговый коэффициент. Параметр η_1 хранится в первом хранилище данных (см. рис. 1, 2).

В рассматриваемом примере порог изображен горизонтальной линией на рис. 8 (см. выше). Пороговая функция не в масштабе и исходный электрокардиосигнал представлены на рис. 9.

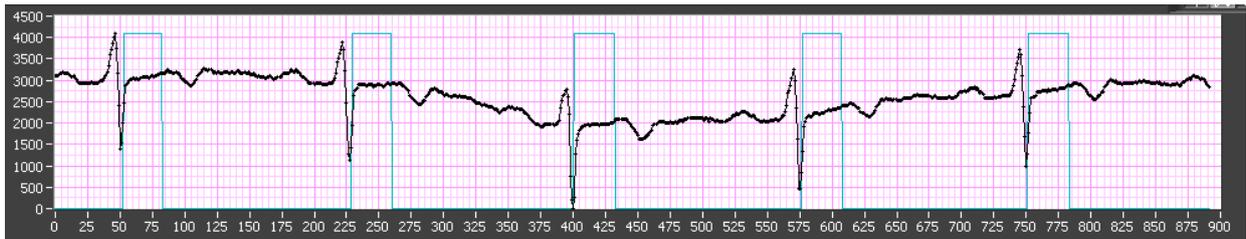


Рис. 9. Пороговая функция и исходный электрокардиосигнал
 Fig. 9. Threshold function and baseline electrocardiosignal

Отметим, что в результате фильтрации электрокардиосигнала пороговая функция смещается вправо по оси времени. При этом участки пороговой функции, где ее значение равно 1 (пики), не совпадают с комплексами QRS (см. рис. 9). Для того, чтобы пики совпадали с комплексами QRS, смещаем влево пороговую функцию на величину η_2 :

$$W_i = \begin{cases} W_{i+\Delta}, & \text{если } i + \eta_2 \leq n \\ 0, & \text{если } i + \eta_2 > n \end{cases}$$

Параметр η_2 хранится в первом хранилище данных (см. рис. 1, 2). Также отметим, что ширина пика пороговой функции может быть меньше, чем ширина комплексов QRS. Поэтому данные участки расширяются на некоторую константу η_3 по следующему правилу: если $W_i = 1$ и $W_{i+1} = 0$, то $W_j = 1$, $j = i + 1, \dots, \eta_3$. Параметр η_3 также хранится в первом хранилище данных (см. рис. 1, 2).

Далее формируется сигнал Y , содержащий только QRS комплексы: $Y_i = X_i \cdot W_i$.

Результат представлен на рис. 10.

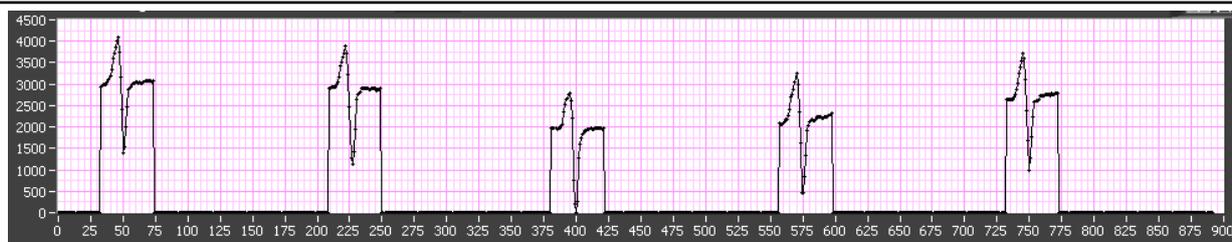


Рис. 10. Комплексы QRS (сигнал в точке Ж на рис. 2)

Fig. 10. QRS complexes (signal at point G in fig. 2)

Комплексы QRS используются для анализа аритмии сердца и принятия решения о возникновении жизнеугрожающей ситуации. Поэтому достоверность выделенных комплексов чрезвычайно важна. Для повышения достоверности выделения комплексов QRS предлагается дополнительно осуществлять анализ их формы. Анализ сводится к сравнению комплексов QRS с шаблонами. Шаблоны комплексов QRS задает врач для каждого пациента. При этом множество заданных шаблонов разбивается на два подмножества, N и K. Подмножество N содержит допустимые QRS-комплексы, K – опасные QRS-комплексы. С каждым шаблоном QRS-комплекса из множества K врач связывает сообщения, выводимые пациенту при обнаружении соответствующего комплекса в ЭКГ пациента.

Таким образом, решаются две задачи:

1) Исключение ошибочно обнаруженных комплексов QRS. Ошибка может возникнуть при появлении в электрокардиосигнале помехи, представляющей собой импульс с крутым фронтом.

2) Обнаружение жизнеугрожающих состояний CCC, связанных с обнаружением комплекса QRS заданной формы.

Сравнение выделенных из ЭКГ пациента QRS-комплексов с заданными шаблонами осуществляется с помощью алгоритма, основанного на методе Dynamic time warping (DTW) [Al-Naumat, et. al., 2012], который представляет собой технику эффективного выравнивания временных рядов. Детально использование метода DTW для оценки формы QRS-комплексов рассмотрено в работах [Муромцев и др., 2019; Muromtsev, et. al., 2020].

Если все заданные шаблоны находятся на большом DTW расстоянии от выделенного QRS-комплекса, то считается, что данный комплекс выделен ошибочно. Этот участок ЭКГ пропускается.

Заключение

В работе рассмотрен подход к построению мобильного устройства, позволяющего снимать ЭКГ пациента и оперативно определять жизнеугрожающие состояния его CCC. Рассмотрены модели потоков данных в таком устройстве и этапы ЦОС ЭКГ. Использование предлагаемого подхода позволяет создать мобильное устройство, отличающееся высоким уровнем персонификации и надежности. Надежность обусловлена тем, что помимо известных подходов к построению алгоритмов ЦОС, используемых для выявления комплексов QRS, также используется алгоритм, основанный на методе DTW. Этот метод широко применяется для обработки звуковых сигналов, в данном же контексте его использование является новым.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Ефремова О.А., Никитин В.М., Чурносков М.И., Камышникова Л.А., Липунова Е.А., Муромцев В.В. 2016. Виртуальный способ оценки риска развития ишемической болезни сердца у носителей полиморфных кардиогенов. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия «Медицина. Фармация», 26 (247): 76–83.

2. Муромцев В.В., Никитин В.М., Ефремова О.А., Камышникова Л.А. 2019. Подход к улучшению автоматизированной системы компьютерного анализа электрокардиограммы. *Медицинские технологии. Оценка и выбор*, 2 (36): 42–48.
3. Обухов С.А., Степанов В.П. 2019. Алгоритм обнаружения QRS-комплекса на электрокардиограмме в реальном времени. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 5. [Электронный ресурс] URL: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-5-1877>. (дата обращения 12 декабря 2020).
4. Петров С.П., Епишина Е.В., Воронин В.В. 2014. Оценка алгоритмов распознавания образов для задач автоматического анализа электрокардиограмм. *Евразийский союз ученых*, (8–8): 27–29. [Электронный ресурс] URL: https://euroasia-science.ru/wp-content/uploads/2016/11/evro_8pr8_6-169.pdf (дата обращения 12 декабря 2020).
5. Рослякова А.В., Чупраков П.Г. 2012. Сравнительный анализ алгоритмов обнаружения R-зубца Электрокардиосигнала. *Вятский медицинский вестник*, 2: 29–35.
6. Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. 2001. Структурный анализ систем: IDEF-технологии. М., Финансы и статистика, 208.
7. Al-Naymat G., Chawla S., Taheri J. 2012. SparseDTW: A Novel Approach to Speed up Dynamic Time Warping arXiv:1201.2969v1 [cs.DB]. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1201.2969v1.pdf> (accessed 12 December 2020).
8. Ansari S., Farzaneh N., Duda M., Horan K., Andersson H.B. 2017. Review of Automated Methods for Detection of Myocardial Ischemia and Infarction Using Electrocardiogram and Electronic Health Records. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 10: 264–298.
9. Choi E., Bahadori M.T., Schuetz A., Stewart W.F., Sun J. 2016. Doctor AI: Predicting clinical events via recurrent neural networks. In *Machine Learning for Healthcare Conference*. 56: 301–318.
10. Fernandez Biscay C., Arini P.D., Rincón Soler A.I. et al. 2020. Classification of ischemic and non-ischemic cardiac events in Holter recordings based on the continuous wavelet transform. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 58, 1069–1078 [Electronic resource] Available at: <https://doi.org/10.1007/s11517-020-02134-8>. (accessed 12 December 2020).
11. LabVIEW. National Instruments. 2020. [Electronic resource] Available at: <http://www.ni.com/>. (accessed 12 December 2020).
12. Muromtsev V.V., Nikitin V.M., Efremova O.A., Kamyshnikova L.A., Ushakova S.N. 2020. One of the approaches to automating the analysis of the shape of ECG sections *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, 11(7): 179–186.
13. Pan J., Tompkins W.J. 1985. A real time QRS detection algorithm. *IEEE transactions on Biomedical Engineering*, 32: 230–236.
14. PhysioBank. Databases. 2020. [Electronic resource]. Available at: <http://physionet.org/physiobank/database/> (accessed 12 December 2020).
15. Sandau K.E., Funk M., Auerbach A., Barsness G.W., Blum K., Cvach M., Lampert R., May J.L., McDaniel G.M., Perez MV. 2017. Update to practice standards for electrocardiographic monitoring in hospital settings: a scientific statement from the American heart association. *Circulation*, 136 (19): e273–e344.
16. Steinhubl S.R., Waalen J., Edwards A.M., et al. 2018. Effect of a Home-Based Wearable Continuous ECG Monitoring. Patch on Detection of Undiagnosed Atrial Fibrillation: The mSToPS Randomized Clinical Trial. *JAMA*, 320 (2): 146–155.
17. Surawicz B., Knilans T. 2008. *Chou's Electrocardiography in Clinical Practice*. 6th Edition. Saunders, 752.
18. Visio. 2020. [Electronic resource]. Available at: <https://www.microsoft.com/ru-ru/microsoft-365/visio/flowchart-software>. (accessed 12 December 2020).

References

1. Efremova O.A., Nikitin V.M., Churnosov M.I., Kamyshnikova L.A., Lipunova E.A., Muromtsev V.V. 2016. Risk virtual method assessment of coronary heart disease in carriers of polymorphic cardiogenic. *Scientific bulletin Belgorod State University. Medicine Pharmacy*. 26 (247): 76–83. (in Russian)
2. Muromtsev V.V., Nikitin V.M., Efremova O.A., Kamyshnikova L.A. 2019. Approach to Improving the Automated System Computer Analysis of the Electrocardiogram. *Medical technology. Assessment and choice*, 2 (36): 42–48. (in Russian)

3. Obukhov S.A., Stepanov V.P. 2019. Algorithm for detecting the QRS complex on the electrocardiogram in real time. *Engineering Journal: Science and Innovation*, 5. Available at: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-5-1877>. (accessed 12 December 2020). (in Russian)
4. Petrov S.P., Epishina E.V., Voronin V.V. 2014. Evaluation of pattern recognition algorithms for the tasks of automatic analysis of electrocardiograms [Electronic resource]. *Eurasian union of scientists*, (8-8): 27-29. Available at: https://euroasia-science.ru/wp-content/uploads/2016/11/evro_8p8_6-169.pdf. (accessed 12 December 2020). (in Russian)
5. Roslyakova A.V., Chuprakov P.G. 2012. Comparative analysis of R-wave detection algorithms in electrocardio signal *Medical Newsletter of Vyatka*, 2: 29–35. (in Russian)
6. Cheremnykh S.V., Semenov I.O., Ruchkin V.S. 2001. *Structural Analysis of Systems: IDEF Technologies*. Moscow, Finance and statistics, 208. (in Russian)
7. Al-Naymat G., Chawla S., Taheri J. 2012. SparseDTW: A Novel Approach to Speed up Dynamic Time Warping arXiv:1201.2969v1 [cs.DB]. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1201.2969v1.pdf> (accessed 12 December 2020).
8. Ansari S., Farzaneh N., Duda M., Horan K., Andersson H.B. 2017. Review of Automated Methods for Detection of Myocardial Ischemia and Infarction Using Electrocardiogram and Electronic Health Records. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 10: 264–298.
9. Choi E., Bahadori M.T., Schuetz A., Stewart W.F., Sun J. 2016. Doctor AI: Predicting clinical events via recurrent neural networks. In *Machine Learning for Healthcare Conference*. 56: 301–318.
10. Fernandez Biscay C., Arini P.D., Rincón Soler A.I. et al. 2020. Classification of ischemic and non-ischemic cardiac events in Holter recordings based on the continuous wavelet transform. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 58, 1069–1078 [Electronic resource] Available at: <https://doi.org/10.1007/s11517-020-02134-8>. (accessed 12 December 2020).
11. LabVIEW. National Instruments. 2020. [Electronic resource] Available at: <http://www.ni.com/>. (accessed 12 December 2020).
12. Muromtsev V.V., Nikitin V.M., Efremova O.A., Kamyshnikova L.A., Ushakova S.N. 2020. One of the approaches to automating the analysis of the shape of ECG sections *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, 11(7): 179–186.
13. Pan J., Tompkins W.J. 1985. A real time QRS detection algorithm. *IEEE transactions on Biomedical Engineering*, 32: 230–236.
14. PhysioBank. Databases. 2020. [Electronic resource]. Available at: <http://physionet.org/physiobank/database/> (accessed 12 December 2020).
15. Sandau K.E., Funk M., Auerbach A., Barsness G.W., Blum K., Cvach M., Lampert R., May J.L., McDaniel G.M., Perez MV. 2017. Update to practice standards for electrocardiographic monitoring in hospital settings: a scientific statement from the American heart association. *Circulation*, 136 (19): e273–e344.
16. Steinhubl S.R., Waalen J., Edwards A.M., et al. 2018. Effect of a Home-Based Wearable Continuous ECG Monitoring. Patch on Detection of Undiagnosed Atrial Fibrillation: The mSToPS Randomized Clinical Trial. *JAMA*, 320 (2): 146–155.
17. Surawicz B., Knilans T. 2008. *Chou's Electrocardiography in Clinical Practice*. 6th Edition. Saunders, 752.
18. Visio. 2020. [Electronic resource]. Available at: <https://www.microsoft.com/ru-ru/microsoft-365/visio/flowchart-software>. (accessed 12 December 2020).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Муромцев Виктор Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой математического и программного обеспечения информационных систем института инженерных и цифровых технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Viktor V. Muromtsev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Mathematical and Software Information Systems, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Никитин Валерий Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий института инженерных и цифровых технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Valeriy M. Nikitin, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Ефремова Ольга Алексеевна, доктор медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой факультетской терапии медицинского института Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Olga A. Efremova, MD, Associate Professor, Head of Department of Faculty Therapy, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Камышникова Людмила Александровна, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры факультетской терапии медицинского института Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Lyudmila A. Kamyshnikova, Candidate of Medicine, Associate Professor, Associate Professor of Department of Faculty Therapy, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 004.9

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-142-149

Основные способы получения информации о биологических объектах

Поспелов А.А., Серебровский В.В., Закурдаева Е.В.

Краснодарское высшее военное училище им. Штеменко С.М.,

Россия, 350063, г. Краснодар, ул. Красина д. 4

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,

Россия, 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94

E-mail: pospeloff23@rambler.ru, sv1111@mail.ru, arheya@mail.ru

Аннотация. В статье описываются методы получения информации о деятельности биологических объектов. Наиболее универсальное отражение состояния биологического объекта показывает температура, так как является характеристикой мощности инфракрасного излучения. В работе отмечается, что при анализе результатов исследования используются методы визуального отображения информации, позволяющие не только отображать информацию о температуре в точках измерения, но и на основе данных измерений строить двумерные карты распределения температур. Также рассматривается возможность использования вычислительных систем в диагностических комплексах.

Ключевые слова: биообъекты, биологические системы, методы получения информации, программно-технические средства, системный анализ биообъектов, измерительная электроника.

Для цитирования: Поспелов А.А., Серебровский В.В., Закурдаева Е.В. 2021. Основные способы получения информации о биологических объектах. Экономика. Информатика, 48 (1): 142–149. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-142-149.

Basic ways of obtaining information about biological objects

Aleksandr A. Pospelov, Vadim V. Serebrovskii, Elena V. Zakurdaeva

Krasnodar higher military school by Shtemenko S. M., 350063, Russia, Krasnodar, Krasina str., 4

South-Western state University, 94, 50 let Oktyabrya str., Kursk, 305040, Russia

E-mail: pospeloff23@rambler.ru, sv1111@mail.ru, arheya@mail.ru

Abstract. The article describes methods for obtaining information about the activities of biological objects. The most universal reflection of the state of an object shows temperature as a characteristic of infrared power. The paper notes that when analyzing the research results, methods of visual display of information are used, which make it possible not only to display information about the temperature at the measurement points, but also to build two-dimensional maps of temperature distribution based on the measurement data. The use of computing systems in diagnostic systems is also considered, which allows not only to increase the processing speed of incoming information, but also to obtain additional information about the processes under study. Modern diagnostic systems use both general-purpose software packages and specialized PC software products for processing incoming data. The existing tools for collecting primary information and analyzing data on biological objects, used in practice, have a clearly expressed specialization, which is focused on achieving high performance indicators when solving a narrow range of tasks. Currently released software and hardware diagnostic systems cannot exchange the received data for joint analysis. There are no universal systems of mass use in diagnostic systems.

Keywords: biological objects, biological systems, methods of obtaining information, software and hardware, a systematic analysis of biological objects, measuring electronics.

For citation: Pospelov A.A., Serebrovskij V.V., Zakurdaeva E.V. 2021. The method of constructing binary decision diagram for the programming of decision tables. Economics. Information technologies, 48 (1): 142–149 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-142-149.

Введение

Одной из важных задач изучения биологических систем является определение текущего состояния биообъектов. Для проведения исследования необходимо наличие достаточно доступной аппаратуры и исследований. Электрофизиологические сигналы, широко используемые в диагностике, по своей природе сложные. У них отсутствует стационарность и периодичность, часто они имеют слабую структурированность и специфические отличия. Задача формального выделения информационных признаков в электрофизиологических сигналах в настоящее время не решена. Существующие средства сбора первичной информации и анализа данных о биообъектах, применяемые на практике, имеют явно выраженную специализацию, которая ориентирована на достижение высоких показателей эффективности при решении узкого круга задач. Выпускаемые в настоящее время программно-технические комплексы диагностики не могут обмениваться получаемыми данными для совместного анализа. В диагностических системах отсутствуют универсальные системы массового применения. В этой связи актуальным является проведение научных исследований, направленных на совершенствование теории обработки электрофизиологических сигналов и разработка подходов к проектированию универсальных технических средств массового применения, предназначенных для обработки информации о биообъектах.

В статье рассматриваются основные способы получения информации о биологических объектах.

Основные способы получения информации о биологических объектах

Электрические потенциалы, так называемые биопотенциалы образуются в процессе жизнедеятельности биологических объектов [Шамонин, Костюк 2017].

Биолограмма, наглядно отображающая волновые процессы системы, является по сути портретом сложной биологической системы. Для изучения волновых процессов биосистем применяется «Эффект Кирлиан», т.е. свечение объектов в электромагнитном поле, которое описано в литературе, например, [Шадури, Чичинадзе, 2002].

Биологические объекты являются источниками излучения. Для исследования волновой структуры биообъектов применяется метод БЭО–томографии (БЭО — биологическая эмиссия и оптическое излучение), который позволяет получать полную информацию о биообъекте путем съемки излучения.

Часто функционирование сложной биологической системы сопровождаются звуками. Для их регистрации применяется метод, называемый фонокардиография. При помощи специальных технических устройств, называемых фонокардиографами, осуществляют запись фонокардиограммы. Специальное устройство регистрирует звуки и преобразует их в видимое изображение, которое выводится на экран монитора или может быть отпечатана на бумажном носителе. Часто проводят одновременно регистрацию звуков и электрические сигналы, что позволяет в дальнейшем проводить совместный анализ полученных результатов.

Развитие технологий исследований сложных биообъектов идет по пути увеличения объема информации, предоставляемой исследователю возможность визуальной оценки происходящих процессов.

Температура — самое универсальное отражение деятельности биологических объектов. Температура, с физической точки зрения представляет собой мощное инфракрасное излучение. Определенная доля теплового излучения нагретого тела приходится на диапазон волн с длинами около 15 см — микроволновое, или сверхвысокочастотное (СВЧ) излучение. Чем выше температура объекта, тем более интенсивно он испускает СВЧ–излучение. Достоинство тепловизионной диагностики состоит в том, что прибор не создаёт помех для работы биологической системы. То есть это метод пассивной диагностики.

Полученная и преобразованная информация отображается на экране монитора или фотопленке. Таким образом, появилась возможность видеть визуализированную

«температурную карту» биологического объекта, что подробно описано в работе [Ткаченко, Голованова, Овечкин, 1999].

Для увеличения содержания информации используется специализированное программное обеспечение, позволяющее представить результаты обследования в удобной для врача форме. [Колесов, Анцыферов, Голубь, Ширяев, 2001].

Радиотермометрия относится к абсолютно безвредным методам функциональной диагностики, поскольку прибор работает в режиме принимающей антенны. Поэтому противопоказаний и ограничений к применению этого метода нет.

Радиотермометр регистрирует СВЧ–излучение от нагретого объекта. Мощность СВЧ–поля нагретого объекта в миллион раз слабее мощности инфракрасного излучения, при регистрации встает проблема качественного усиления, фильтрации помех и тому подобное.

При анализе результатов исследования используются методы визуального отображения информации, позволяющие не только отображать информацию о температуре в точках измерения, но и на основе данных измерений строить двумерные карты распределения температур.

Дальнейшим развитием метода глубинной радиотермометрии является разработка прибора, позволяющего проводить сканирование температур исследуемой области по глубине — термотомографа.

Термотомограф является прибором нового класса и его отличие от обычного, «точечного» радиотермометра, в том, что длина волны принимаемого микроволнового излучения у него переменная. Это позволяет приводить исследование температуры на разных глубинах, а компьютерная система обработки результатов представляет картину распределения температур в виде двухмерного графика.

Томография дословно переводится с греческого языка как изображение слоев. Этот метод диагностики возник сравнительно недавно, в 70-е годы, благодаря исследованиям американских ученых Г. Хаунсфильда и Дж. Амброуза. Используя традиционное проникающее рентгеновское излучение, они применили принципиально новую технологию. Томография является одним из вариантов рентгенологической съемки. Томограф позволяет изучать изображение объекта «в разрезе».

Полные изображения и изображения, а также «полные биологические» изображения. Рентген радиального рентгена, Рентгеновский снимок под рентгеном, Рентген, Рентген, Рентген, Рентген, Рентген, Рентген, Рентген, Рентген Lo tanto, рентгеновские лучи, рентгеновские лучи, рентгеновские лучи, рентгеновские лучи обеспечиваются lo tanto, которые присутствуют в ciertas Restriciones и la frecuencia в компьютерной томографии. Переносной компьютер специального назначения для визуализации с радиальным пропусканием рентгеновских лучей и получения заднего цветного изображения: Десять лучших портативных компьютеров X giratorio que se mumu alrededor de un objeto estacionario, «портативный компьютер». Lostomógrafoscomputarizados допускает проходы от 2 до 10 мм, с классом escaneo от 2 до 5 мм, представленных белым и черным.

На данный момент одним из самых распространенных современных методов исследования является компьютерная томография. Помимо традиционной томографии сегодня уже освоена одна из ее современных перспективных модификаций — кинематическая томография. Этот метод позволяет наблюдать работу той или иной части биообъекта в движении.

Основным преимуществом компьютерной томографии перед другими методами диагностики является точность полученных результатов.

Рентгеновское и другие виды ионизирующего излучения составляют группу методик, использующихся в диагностических целях. Среди методов рентгенодиагностики выделяют основные и вспомогательные методы. Основные методы рентгенодиагностики - рентгеноскопия, рентгенография и рентгенофлюорография.

Эндорадиометрия

Миниатюризация электронной аппаратуры привела к дальнейшему развитию методов электрического измерения неэлектрических величин. Современная микроэлектроника способна создать датчики минимального размера. Например, производятся датчики давления, имеющие в диаметре всего 2-3 мм. Эти датчики могут вживляться в биообъект.

Другие примеры использования миниатюрных датчиков – это радиозонды, имеющие форму пилюли. Источником питания для таких датчиков служат микроаккумуляторы. [Петрова, Серебровский, 2018]. Для обработки сигналов от миниатюрных датчиков используются специальные приёмные устройства, использующие радиоконтуры с высоким коэффициентом усиления. Для фиксации показаний используются универсальные регистраторы.

Диагностические вычислительные программно–аппаратные системы

Использование вычислительных систем в диагностических комплексах позволяет не только увеличить скорость обработки поступающей информации, но и получить дополнительную информацию об исследуемых процессах. Современные диагностические комплексы используют для обработки поступающих данных компьютер. Для регистрации сигналов используются универсальные аналого–цифровые преобразователи [Мирошников, Адипов, Гершанович, Мельникова, 1981]. Для исследования полученных данных используются как программные пакеты общего назначения, так и специализированные программные продукты.

Программные пакеты компьютерной математики общего назначения используются для определения, в первую очередь, статистических параметров. Наиболее распространённые – среднее, среднеквадратичное отклонение, дисперсия, коэффициент вариации и другие. Математическая обработка позволяет уменьшить избыточность исходных данных и определить общие характеристики исследуемых процессов.

Другой пример использования математических программ общего назначения – это частотный анализ, прежде всего, различные модификации преобразования Фурье для периодических функций. Гармонические составляющие дают информацию об изменениях исследуемой функции во времени.

Среди программных продуктов наибольшее распространение получили программные продукты справочного назначения, представляющие собой электронный вариант справочников и созданные на их основе экспертные системы [Дьяконов, 2001].

Специализированные программы менее требовательны к уровню подготовки пользователей. Одной из таких разработок является комплекс «ОМИС» [Дьяконов, 2001].

На начальных этапах развития компьютерной техники специализированное программное обеспечение разрабатывалось на ЭВМ третьего поколения. Возможности этих программ и, главное, удобство использования были небольшие. Известны системы, разработанные для больших ЭВМ такие как SARF, Interspace, Merlin, Promenade и OLPARS (Sammon и Chernofs) и другие. В последующем эти системы были адаптированы для персональных ЭВМ. Так же для ПЭВМ разработаны специализированные системы [Устинов, Ситарчук, Корневский, 1995]: CASNET, MYCIN. МОДИС, КОНСУЛЬТАНТ-2 и другие.

В настоящее время наметилась тенденция к тому, что все программные продукты имеют похожий функционал, представляющий собой комбинацию методов математической статистики и экспертных систем. Отдельным направлением является разработка систем «искусственного интеллекта», основанных на применении нейронных сетей и правилах нечёткой логики.

Одной из наиболее известных компьютерных систем поддержки принятия решений является программа HES-EKG, разработанная отделом обработки биосигналов Медицинского института г. Ганновер (Германия) [Buchanan, Shortliffe, 1984].

Моделирование сложных биологических систем

Цель компьютерного моделирования систем — исследовательские испытания системы. Моделирование позволяет получить предварительную информацию без натуральных или лабораторных испытаний. Моделирование применяется тогда, когда проведение натуральных испытаний невозможно из-за возможности повреждения биологической системы. На модели можно проверить состояния, которых тяжело достичь в натурном эксперименте. Современные компьютеры обладают большим набором средств математического моделирования. Это относится не только к моделированию сложных биологических систем. Во многих случаях физиология еще не располагает необходимыми данными для составления модели. В этом случае пользуются предположительной, или эвристической моделью.

В моделировании систем всегда используется блок оценки адекватности и эффективности модели. Например, при регрессионном моделировании с использованием аппроксимирующих функций оценка выполняется с использованием коэффициента вариации и других статистических показателей [Gordori, Shortliffe, 1985].

Часто задачей моделирования является упрощение системы для рассмотрения наиболее важных параметров и реакций сложной биологической системы. То есть в моделях используются только наиболее значимые зависимости реальной системы.

В настоящее время имеются готовые, достаточно сложные, математические и компьютерные модели многих сложных биологических систем. Наиболее известная из них — биологический нейрон, который является развитием «перцептрона Розенблата». В модели нейрон имеет несколько входов, каждому входу ставится в соответствие весовой коэффициент и один выход (Рисунок 1). Нейрон производит суммирование входных воздействий с учётом соответствующих весовых коэффициентов. Результат на выходе определяется пороговой функцией.

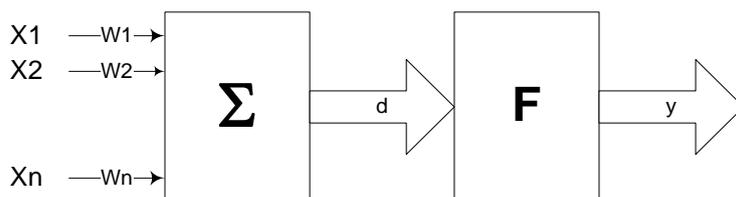


Рис. 1. Модель биологического нейрона

Fig. 1. Model of a biological neuron

Нейроны образуют нейронную сеть. Будучи настроены соответствующим образом нейронные сети применяются для решения широкого круга задач [Попечителей, Корневский, 2006].

Заключение

Анализ существующих технических и программных средств получения данных о сложных биологических системах и поддержки принятия решений позволяет выделить основные типы данных, обрабатываемых в биологических системах.

Установлено, что в практических диагностических системах отсутствуют универсальные системы массового применения.

Существующая классификация систем электроники, в основе которой лежит область применения устройств, не дает представления о способах обработки данных исследований.

Ни одна из известных систем не учитывает использование конкретных средств воздействия на объект и последствия этого воздействия.

Список литературы

1. Электромиографическое распознавание биопотенциалов человека. Шамонин Вадим Павлович, Костюк Дмитрий Александрович Страницы: 41-44 ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ РАЗРАБОТЧИКОВ СВОБОДНЫХ ПРОГРАММ Калуга, 22–24 сентября 2017 года Тезисы докладов. Ответственный редактор В.Л. Черный. 2017 Издательство: ООО "МАКС Пресс" (Москва)

2. Современная наука: Биологическая география - новый информационный подход к исследованию живых систем [Электронный ресурс]. / М. Шадури, Г. Чичинадзе. – 2002 г. –Режим доступа: <http://www.forum.cnews.ru>.
3. Новые методы ранней диагностики болезней [Электронный ресурс]. / Ю.А. Ткаченко, М.В. Голованова, А.М. Овечкин. –1999г. Режим доступа: <http://www.nnov.city.ru>.
4. Колесов, С.Н. Построение медицинских систем распознавания тепловизионных образов. / С.Н. Колесов, С.С. Анцыферов, Б.И. Голубь, С.В. Ширяев. // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2001г. –№ 1, – 196 с.
5. Мирошников, М.М. Тепловидение и его применение в медицине. / М.М. Мирошников, В.И. Адипов, М.А. Гершанович, В.П. Мельникова. –М.: Медицина, 1981г. –183 с.
6. Дьяконов, В.П. Компьютерная математика. Теория и практика. / В.П. Дьяконов. – М.:Нолидж, 2001г. –1296 с.
7. Устинов, А.Г. Автоматизированные медико-технологические системы. / А.Г. Устинов, Е.А. Ситарчук, Н.А. Корневский. –Курск: Изд-во КГТУ, 1995г. –368 с.
8. Buchanan, B.C. Rule Expert Systems — the MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. / B.C. Buchanan, E.N. Shortliffe. –Addison - Wesley, 1984.
9. Gordori, J. A Method for Managing Evidential Reasoning in a Hierarchical Hypotheses Space. / J. Gordori, E. Shortliffe. // AIJ - 1985. Vol. 26.
10. Петрова Т.В., Серебровский В.В., Рыбочкин А.Ф., Филист С.А., Томакова Р.А. Методология оценки синхронности системных ритмов для компьютерных технологий мониторинга функционального состояния живых систем. // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2018). VII Международная научно-техническая конференция. Сборник трудов конференции//Петрова Т.В., Серебровский В.В. и др. - Курск: ЮЗГУ, - 2018. - 566 с.
11. Попечителей, Е.П. Медицинские приборы, аппараты, системы и комплексы. В 4 ч. Ч.1. / Е.П. Попечителей, Н.А. Корневский. – Курск: Курск. гос. техн. ун-т., 2006г, –156 с.
12. Сурушкин М.А., Нестеров В.Г., Игрунова С.В., Нестерова Е.В. Метод интегральной оценки функционального состояния кардиореспираторной системы человека с использованием экспертного балльного и рангового оценивания. – Белгород: Научные ведомости Белгородского государственного университета. Экономика. Информатика. 2020. Т. 47(1). с. 196–204.
13. Королев М.В., Королева Л.Ю., Мотиенко А.И. Применение метода динамического программирования Беллмана при реализации высоконадежных систем обработки электронных медицинских данных. – Белгород: Научные ведомости Белгородского государственного университета. Экономика. Информатика. 2019. Т. 46 (4). с. 689–699.
14. Корсунов Н.И., Ушакова С.Н. Структура нейрокомпьютерной системы классификации сигналов. – Белгород: Научные ведомости Белгородского государственного университета. Экономика. Информатика. 2019. Т. 46 (3). с. 496–502.
15. Балабанова Т.Н., Трапезникова И.В. Синтез панорамных изображений и их использование в цитогенетических исследованиях. – Белгород: Научные ведомости Белгородского государственного университета. Экономика. Информатика. 2018. Т. 45 (4). с. 760–768.
16. Аверин Г.В., Звягинцева А.В., Швецова А.А. О подходах к предсказательному моделированию сложных систем. – Белгород: Научные ведомости Белгородского государственного университета. Экономика. Информатика. 2018. Т. 45 (1). с. 140–148.

References

1. Modern science: Biogeography - a new informational approach to the study of living systems [Electronic resource]. / M. Shaduri, G. Chichinadze. –2002 –Access mode: <http://www.forum.cnews.ru>. (Covremennaja nauka: Biogeografija - novyj informacionnyj podhod k issledovaniju zhivyh sistem [Jelektronnyj resurs]. / M. Shaduri, G. Chichinadze. – 2002 g. – Rezhim dostupa: <http://www.forum.cnews.ru>.)
2. New methods of early diagnosis of diseases [Electronic resource]. / Yu.A. Tkachenko, M.V. Golovanova, A.M. Ovechkin. –1999 Access mode: <http://www.nnov.city.ru>. (Novye metody rannej diagnostiki boleznej [Jelektronnyj resurs]. / Ju.A. Tkachenko, M.V. Golovanova, A.M. Ovechkin. –1999g. Rezhim dostupa: <http://www.nnov.city.ru>.)
3. Kolesov, S.N. Construction of medical systems for recognition of thermal imaging images. / S.N. Kolesov, S.S. Antsyferov, B.I. Golub, S.V. Shiryaev. // Biomedical radio electronics. –2001 –№ 1, - 196 p.

(Kolesov, S.N. Postroenie medicinskih sistem raspoznavaniya teplovizionnyh obrazov. / S.N. Kolesov, S.S. Ancyferov, B.I. Golub', S.V. Shirjaev. // Biomedicinskaja radiojelektronika. –2001g. –№ 1, – 196 s.)

4. Miroshnikov, M.M. Thermal imaging and its application in medicine. / M.M. Miroshnikov, V.I. Adipov, M.A. Gershanovich, V.P. Melnikov. –M.: Medicine, 1981. –183 s. (Miroshnikov, M.M. Teplovidenie i ego primenenie v medicine. / M.M. Miroshnikov, V.I. Adipov, M.A. Gershanovich, V.P. Mel'nikova. –M.: Medicina, 1981g. –183 s.)

5. Dyakonov, V.P. Computer mathematics. Theory and practice. / V.P. Dyakonov. - M.: Knowledge, 2001. –1296 p. (D'jakonov, V.P. Komp'yuternaja matematika. Teorija i praktika. / V.P. D'jakonov. – M.:Nolidzh, 2001g. –1296 s.)

6. Ustinov, A.G. Automated medical technology systems. / A.G. Ustinov, E.A. Sitarchuk, N.A. Korenevsky. – Kursk: Publishing house of KSTU, 1995. –368 s. (Ustinov, A.G. Avtomatizirovannye mediko-tehnologicheskie sistemy. / A.G. Ustinov, E.A. Sitarchuk, N.A. Korenevskij. –Kursk: Izd-vo KGTU, 1995g. –368 s)

7. Buchanan, B.C. Rule Expert Systems — the MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. / B.C. Buchanan, E.N. Shortliffe. –Addison - Wesley, 1984.

8. Gordori, J. A Method for Managing Evidential Reasoning in a Hierarchical Hypotheses Space. / J. Gordori, E. Shortliffe. // AIJ - 1985. Vol. 26.

9. Petrova T.V., Serebrovsky V.V., Rybochkin A.F., Philist S.A., Tomakova R.A. Methodology for assessing the synchronicity of systemic rhythms for computer technologies for monitoring the functional state of living systems. // Information technologies in science, education and production (ITNOP-2018). VII International Scientific and Technical Conference. Proceedings of the conference // Petrova T.V., Serebrovsky V.V. and others - Kursk: YuZGU, - 2018. -- 566 p. (Petrova T.V., Serebrovskij V.V., Rybochkin A.F., Filist S.A., Tomakova R.A. Metodologija ocenki sinhronnosti sistemnyh ritmov dlja komp'yuternyh tehnologij monitoringa funkcional'nogo sostojanija zhivyh sistem. // Informacionnye tehnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve (ITNOP-2018). VII Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija. Sbornik trudov konferencii/Petrova T.V., Serebrovskij V.V. i dr. - Kursk: JuZGU, - 2018. - 566 s.)

10. Popechitelev, E.P. Medical devices, apparatus, systems and complexes. At 4 pm Part 1. / E.P. Popechitelev, N.A. Korenevsky. –Kursk: Kursk. state tech. un-t., 2006, -156 p. (Popechitelev, E.P. Medicinskie pribory, apparaty, sistemy i komplekсы. V 4 ch. Ch.1. / E.P. Popechitelev, N.A. Korenevskij. – Kursk: Kursk. gos. tehn. un-t., 2006g, –156 s.)

11. Surushkin M.A., Nesterov V.G., Igrunova S.V., Nesterova E.V. The method of integral assessment of the functional state of the human cardiorespiratory system using expert score and rank assessment. - Belgorod: Scientific Bulletin of Belgorod State University. Economy. Informatics. 2020.Vol. 47 (1). from. 196-204. (Surushkin M.A., Nesterov V.G., Igrunova S.V., Nesterova E.V. Metod integral'noj ocenki funkcional'nogo sostojanija kardiorespiratornoj sistemy cheloveka s ispol'zovaniem jekspertnogo ball'nogo i rangovogo ocenivaniya. – Belgorod: Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Jekonomika. Informatika. 2020. T. 47(1). s. 196–204.)

12. Korolev M.V., Koroleva L.Yu., Motienko A.I. Application of Bellman's dynamic programming method in the implementation of highly reliable systems for processing electronic medical data. - Belgorod: Scientific Bulletin of Belgorod State University. Economy. Informatics. 2019.Vol. 46 (4). from. 689-699. (Korolev M.V., Koroleva L.Ju., Motienko A.I. Primenenie metoda dinamicheskogo programmirovaniya Bellmana pri realizacii vysokonadezhnyh sistem obrabotki jelektronnyh medicinskih dannyh. – Belgorod: Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Jekonomika. Informatika. 2019. T. 46 (4). s. 689–699.)

13. Korsunov N.I., Ushakova S.N. The structure of the neurocomputer signal classification system. - Belgorod: Scientific Bulletin of Belgorod State University. Economy. Informatics. 2019.Vol. 46 (3). from. 496-502. (Korsunov N.I., Ushakova S.N. Struktura nejrokomp'yuternoj sistemy klassifikacii signalov. – Belgorod: Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Jekonomika. Informatika. 2019. T. 46 (3). s. 496–502.)

14. Balabanova T.N., Trapeznikova I.V. Synthesis of panoramic images and their use in cytogenetic studies. - Belgorod: Scientific Bulletin of Belgorod State University. Economy. Informatics. 2018.Vol. 45 (4). from. 760-768. (Balabanova T.N., Trapeznikova I.V. Sintez panoramnyh izobrazhenij i ih ispol'zovanie v citogeneticheskikh issledovaniyah. – Belgorod: Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Jekonomika. Informatika. 2018. T. 45 (4). s. 760–768.)

15. Averin G.V., Zvyagintseva A.V., Shvetsova A.A. Approaches to predictive modeling of complex systems. - Belgorod: Scientific Bulletin of Belgorod State University. Economy. Informatics. 2018.Vol. 45 (1). from. 140-148. (Averin G.V., Zvjaginceva A.V., Shvecova A.A. O podhodah k predskazatel'nomu modelirovaniju slozhnyh sistem. – Belgorod: Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Jekonomika. Informatika. 2018. T. 45 (1). s. 140–148.)

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ****INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

Поспелов Александр Александрович, старший преподаватель 3 цикла (средств специальной связи) учебного центра, Краснодарское высшее военное училище им. Штеменко С.М.

Aleksandr A. Pospelov, senior teacher of the 3rd cycle (means of special communication) of the training center Krasnodar Higher Military School named after him. Shtemenko, S.M.

Серебровский Вадим Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры программной инженерии ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

Vadim V. Serebrovskii, Doctor of Technical Sciences, Professor, the chair of programming engineering South-West State University

Закурдаева Елена Викторовна, аспирант ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

Elena V. Zakurdaeva, graduate student South-West State University

УДК 004.031.4

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-150-155

Использование сервиса автоматизации составления программ тренировок в условиях пандемии коронавирусной инфекции COVID-19

Менькова А.С.

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Россия, 302026, Орловская область, г. Орел, ул. Комсомольская, 95

E-mail: anastasiya@skb-it.ru

Аннотация. В данной статье описывается актуальность использования систем удаленного консультирования больных в условиях пандемии. Говорится о категориях людей, которым необходимы постоянные специализированные физические нагрузки и правильное питание. Предлагается программное решение, способное помочь профессиональным спортсменам, людям, нуждающимся в лечении костно-мышечной системы и пациентам с диагнозом заболевания желудочно-кишечного тракта продолжать тренировочные занятия и соблюдать диету питания в условиях вынужденной самоизоляции. Описываются преимущества и достоинства использования сервиса автоматизации составления программ тренировок в условиях борьбы с коронавирусной инфекцией.

Ключевые слова: пандемия коронавирусной инфекции, COVID-19, сервис автоматизации, программы тренировок, правильное питание, профессиональные тренировки.

Для цитирования: Менькова А.С. 2021. Использование сервиса автоматизации составления программ тренировок в условиях пандемии коронавирусной инфекции COVID-19. Экономика. Информатика, 48 (1): 150–155. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-150-155.

Using the training program automation service in the context of the COVID-19 coronavirus pandemic

Anastasia S. Menkova

Orel State University

95 Komsomolskaya St., Orel, 302026, Russia

E-mail: anastasiya@skb-it.ru

Abstract. This article describes the relevance of using remote patient counseling systems in the context of a pandemic. It refers to the categories of people who need constant specialized physical activity and proper nutrition. Brief statistics of people diagnosed with diseases of the musculoskeletal system and gastrointestinal tract, as well as the number of medical and physical education dispensaries in Russia are provided. The article describes human problems that arise with the human body during forced self-isolation. We offer a software solution that can help professional athletes, people who need treatment of the musculoskeletal system and patients with a diagnosis of gastrointestinal diseases to continue training sessions and follow a diet in conditions of forced self-isolation. The advantages and advantages of using the service for automating training programs in the fight against coronavirus infection are indicated. Significant and distinctive features of the training program automation service are described. The article provides examples of using the described service. The article provides examples of using the described service. It is concluded that it is necessary to develop and use an automation service in the context of the coronavirus pandemic.

Keywords: coronavirus pandemic, COVID-19, automation service, training programs, proper nutrition, professional training.

For citation: Men'kova A.S. 2021. Using the training program automation service in the context of the COVID-19 coronavirus pandemic. *Economics. Information technologies*, 48 (1): 150–155 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-150-155.

Вынужденная самоизоляция в условиях пандемии в 2020 году привела к необходимости развития технологий, позволяющих оказывать различные услуги удаленно. Одна из сфер, в которой создание подобных сервисов стало крайне необходимо, это медицина. Онлайн-консультирование пациентов стало одним из самых востребованных нововведений в ряде регионов. В феврале 2020 года стало известно об изменениях в законодательстве, которые сейчас разрабатываются в парламенте, согласно которым врачам разрешат ставить предварительные диагнозы и назначать лечение дистанционно [Российская газета, 2020]. В условиях пандемии развитие телемедицины принесло огромную пользу для борьбы с коронавирусной инфекцией, но нельзя забывать, что остаются люди, которые имеют хронические заболевания, и следить за их состоянием здоровья также жизненно необходимо.

Одной из категорий пациентов, нуждающихся в постоянном контроле протекания болезни, являются люди, имеющие медицинский диагноз заболевания костно-мышечной системы и соединительных тканей, а также люди с широким спектром нарушений опорно-двигательного аппарата. В России на 2019 год таких больных насчитывается более 1351 тысяч человек [Здравоохранение, 2019]. Людям с подобными диагнозами необходима постоянная специальная физическая нагрузка, направленная на восстановление и укрепление отдельных видов мышц и конечностей. Каждый комплекс упражнений должен быть строго индивидуально подобран для пациента с учетом его истории болезни, осложнений, индивидуальной переносимости к различным видам упражнений [Приказ, 2012].

В больницах и поликлиниках городов существует специальное отделение лечебной физкультуры, где с пациентами занимаются квалифицированные врачи в данной области. За последние 25 лет количество врачебно-физкультурных диспансеров и центров спортивной медицины в России сократилось более чем в 3 раза. По данным на 2017 год, в России действуют всего 69 врачебно-физкультурных диспансеров [Комитет, 2017]. Во время общей самоизоляции у пациентов отсутствует возможность лично посещать данное отделение, что делает процесс восстановления и лечения более долгосрочным и менее результативным. Но в данном случае проведение онлайн-консультации будет малоэффективным, так как комплекс упражнений должен быть составлен на определенный промежуток времени, а связываться с пациентом по видеосвязи ежедневно достаточно затратно по времени, а процесс контролирования или получения результатов от занятий делается совсем невозможным. В таком случае возможность удаленного формирования комплекса упражнений с помощью сервиса автоматизации составления программ тренировок с учетом физиологических особенностей человека является идеальным решением в сложившейся ситуации.

С помощью сервиса врач лечебной физкультуры создает для каждого из своих пациентов индивидуальную тренировочную программу, подбирая необходимые упражнения из имеющегося справочника. Если в справочнике отсутствует нужное упражнение, доктор всегда может создать новое, добавив к нему подробное описание, изображение, а также видео-пример техники выполнения [Лунев и др. 2015].

По завершению выполнения комплекса упражнений пациент заносит результаты занятия в дневник программ тренировок, где при необходимости может словесно отметить замечания, неудобства, дискомфорт от выполнения упражнений по программе. Врач же, в свою очередь, всегда может просмотреть заполненный дневник и внести изменения, дополнения, комментарии к созданной программе или же заменить текущую программу на новую [Бычкова, Андреев, 2017].

Данный процесс тренировок поможет пациентам с нарушениями опорно-двигательного аппарата не пропускать занятия во время вынужденной самоизоляции и в то же время быть под контролем специалиста в области лечебной медицины. К тому же, врач

имеет возможность уделить больше времени и проконтролировать большее число пациентов с использованием сервиса автоматизации составления программ тренировок, чем при использовании услуги телемедицины.

Несмотря на то, что разрабатываемый сервис значительно упрощает работу врачей в столь сложное время, можно с уверенностью сказать, что система обязательно найдет свое применение и в повседневной жизни. Сервис автоматизации повысит качество работы врачей, увеличит количество обслуживаемых пациентов, сократит время, уделяемое на одного больного, а также упростит способ общения с врачом при отсутствии возможности личного посещения специалиста.

Еще одной категорией пациентов, нуждающихся в постоянном контроле, являются люди с диагнозом нарушений эндокринной системы, расстройства питания, нарушения обмена веществ и болезни органов пищеварения, в России их насчитывается более 633 тысяч [Здравоохранение, 2019]. Для таких больных основополагающим в лечении является правильное питание. Людям с заболеваниями желудочно-кишечного тракта крайне необходимо сбалансированное питание с определенным количеством нутриентов, килокалорий, минералов, витаминов, аминокислот и т. д. [Тулиева, Раинская, 2015]. Контроль за приемом пищи таких людей является жизненно необходимым, ведь основой лечения подобных заболеваний является правильное питание и ограничение больного в определенных категориях продуктов. При составлении диеты питания также важно учитывать точный диагноз, течение болезни, индивидуальную непереносимость или аллергическую реакцию пациента на определенные продукты и другие вынужденные ограничения. Как правило, для таких людей рацион питания составляет профессиональный врач-диетолог.

К тому же во время самоизоляции из-за малоподвижного образа жизни и сокращения физической активности при постоянном нахождении дома человек сжигает в день примерно на 400 килокалорий меньше, чем при обычном образе жизни [Авдеев и др., 2018]. В добавок ко всему во время стрессовых ситуаций человеку свойственно потребление более калорийной, нездоровой и неправильной пищи. В связи с этим сохранение здоровья и прежнего веса для человека является достаточно сложной задачей. В такой ситуации далеко не многие люди способны составить для себя правильную и сбалансированную диету, поэтому им приходится прибегать к помощи диетологов.

Описанные выше проблемы можно решить с использованием сервиса при удаленном составлении программы питания. При создании диеты врач указывает нужное количество приемов пищи в день и добавляет продукты из справочника с указанием размера порции в граммах. При составлении программы питания важно учитывать все особенности питания пациента и свойства продукта [Бычкова и др., 2017; Лунева и др., 2018]. Если вдруг в справочнике не окажется нужного продукта питания, у диетолога всегда есть возможность добавить новый продукт с указанием его количества макро- и микронутриентов.

При завершении каждого приема пищи пациент должен отметить в дневнике питания, что из программы по факту было съедено, что заменено на другой продукт, порция какого продукта была увеличена или уменьшена и другие важные изменения или замечания по плану диеты. Просматривая дневники питания своих подопечных, диетолог может вносить коррективы в текущую диету или поменять ее полностью, создав новую.

Таким образом, люди с заболеваниями ЖКТ и желающие остаться в своей прежней форме, при нахождении дома во время самоизоляции, ежедневно находятся под удаленным присмотром профессионального врача-диетолога, который в свою очередь более точно может следить за ходом протекания диеты, опираясь на данные заполненных дневников.

Еще одна категория людей, которые пострадали от необходимости находиться дома, вместо привычного образа жизни, это спортсмены. Врачи спортивной медицины также потеряли возможность личного наблюдения за тренировками подопечных. Спортсмены – это люди, которые обязаны постоянно следить за своими текущими показателями и поддерживать свою физическую подготовку, но сложившаяся в мире ситуация поставила под удар и их профессиональную деятельность. Во время общей самоизоляции все спортивные заведения,

спортзалы и фитнес-клубы приостановили свою работу, таким образом исключив возможность занятия спортом в специально оборудованных местах [Федеральный закон, 2017]. Но приостановление тренировок на длительное время может стоить профессиональному спортсмену слишком многими потерями в результатах [Бычкова и др, 2019]. Поэтому одним из подходящих вариантов решения проблемы является организация тренировочного процесса у себя дома или на придомовой территории. Профессиональный тренер всегда сможет придумать замену упражнения на спортивном оборудовании аналогичным упражнением со спортивным инвентарем или другими заменителями. Поэтому тренер имеет возможность с помощью сервиса автоматизации составления программ тренировок человека составить тренировочный план, добавив в него взаимозаменяемые упражнения, указать вес имеющихся снарядов, количество подходов и повторений. При занятии физическими нагрузками спортсмен вносит личные показатели до и после выполнения упражнений, а также указывает в тренировочном дневнике факт выполнения каждого упражнения.

Так как каждый спортсмен обязан придерживаться определенной диеты, то специалисты спортивной медицины смогут составить для него обновленное меню с помощью описываемого сервиса, также учитывая все изменения произошедшие в его образе жизни, с учетом изменения его распорядка дня и тренировочной нагрузки.

Таким образом, тренер продолжает контролировать своего подопечного, может видеть его текущие показатели и сравнивать их с предыдущими, данные дневников не дадут возможности упустить момент потери физической подготовки спортсмена, а также его силовых, скоростных или показателей выносливости [Андреенков, Бычкова, 2017]. А так как одного спортсмена зачастую курируют сразу несколько специалистов в области спортивной медицины, тренеры и диетологи, то возможность просматривать его дневники питания и тренировок в одном месте делает сервис автоматизации еще более удобным в использовании.

Развитие рынка телемедицины делает сервис автоматизации составления программ тренировок с учетом физиологических особенностей человека еще более конкурентоспособным за счет имеющихся преимуществ [Lunev etc, 2018]. В отличие от телемедицины дистанционные консультации через сервис автоматизации экономят время как специалиста в конкретной области, так и наблюдаемого. При использовании описываемого сервиса нет необходимости создавать дополнительные записи на бумажных носителях или в других программах, так как вся информация по питанию и физическим занятиям, а также данные об изменениях и замечаниях, хранятся в дневниках, где также можно быстро и удобно просматривать прогресс от занятий и собирать необходимые статистические данные [Лунева и др., 2018]. Чтобы не пропускать новые изменения в программах, отметки в дневниках или поступление нового личного сообщения пользователям сервиса приходят звуковые и всплывающие уведомления. А для более удобного и привычного заполнения дневников у сервиса автоматизации имеется мобильное приложение, разработанное под основные операционные системы для смартфонов.

Таким образом, использование сервиса автоматизации составления программ тренировок с учетом физиологических особенностей человека в условиях пандемии коронавирусной инфекции COVID-19 поможет специалистам в области медицины оказывать качественную удаленную консультацию больным и не упустить развитие осложнений при хронических заболеваниях. Но нужно обратить внимание, что сервис не может со стопроцентной уверенностью заменить личного посещения специалиста, а создан в помощь врачам при сложившейся ситуации в мире.

Список литературы

1. Авдеев А.В., Бычкова А.С., Коврижкин А.С., Паршина В.А., Поляков Р.Г., Стычук А.А., Стычук И.С., Ужаринский А.Ю. 2018. Исследование и анализ существующих методик в системах автоматизированного составления тренировочного плана Информационные системы и технологии. 2 (106). 23–28.

2. Андреевков А.Б., Бычкова А.С. 2017. Система автоматизации составления тренировочного плана для фитнес-центров. Естественные, инженерные и экономические исследования в технике, промышленности, медицине и сельском хозяйстве: материалы I Молодежной научно-практической конференции с международным участием; под общ. ред. С.Н. Девицыной. 23–27.
3. Бычкова А.С., Андреевков А.Б., Забелин С. А., Лунева О.Н., Пятин И.И. 2017. Методы расчета потребности в килокалориях для людей, ведущих здоровый образ жизни. Фундаментальные и прикладные аспекты создания биосферосовместимых систем: материалы 3-й международной научно-технической интернет-конференции, ОГУ имени И.С. Тургенева. 240–242.
4. Бычкова А.С., Андреевков А.Б. 2017. Автоматизированная система ведения дневника тренировок пользователя. Естественные, инженерные и экономические исследования в технике, промышленности, медицине и сельском хозяйстве: материалы I Молодежной научно-практической конференции с международным участием; под общ. ред. С.Н. Девицыной. 340–343.
5. Бычкова А.С., Ужаринский А.Ю., Сурова Е.А., Новикова Д.С. 2019. Актуальность проведения исследований в области создания электронных услуг населению для здорового образа жизни. Интеллектуальные информационные системы: труды Международной научно-практической конференции, 50–53.
6. Здравоохранение в России. 2019: Статический сборник Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Москва.
7. Комитет государственной думы по охране здоровья. 2017. Вопросы спортивной медицины необходимо было решать еще 20 лет назад [Электронный ресурс] URL: <http://komitet2-2.km.duma.gov.ru/Novosti-Komiteta/item/252782>.
8. Лунев Р.А., Волков В.Н., Стычук А.А., Бычкова А.С. 2015. Сервис автоматизации составления программ тренировок с учетом физиологических особенностей человека, как электронная услуга населению. Научные ведомости БелГУ, Серия: Экономика. Информатика. 7 (204). 132–136.
9. Лунева О.Н., Новикова Д.С., Сурова Е.А., Стычук И.С. 2018. Автоматизация составления плана физической активности и питания человека для ведения здорового образа жизни. Информационные системы и технологии, 6 (110). 49–54.
10. Лунева О.Н., Ужаринский А.Ю., Бычкова А.С., Авдеев А.В., Поляков Р.Г., Коровкина А.С. 2018. Актуальность разработки сервиса автоматизации составления тренировочного плана с учетом физиологических особенностей пользователя. Тенденции развития Интернет и цифровой экономики. Труды I Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. 113 с.
11. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 29 декабря 2012 г. N 1705н "О порядке организации медицинской реабилитации".
12. Российская газета. Диагноз по интернету. Телемедицина поможет качественнее лечить больных 2020 [Электронный ресурс] URL: <https://rg.ru/2020/01/27/vracham-mogut-razreshit-stavit-predvaritelnyj-diagnoz-udaleno.html>.
13. Тулиева М.С., Раинская А.С. 2015. Особенности питания людей с заболеваниями желудочно-кишечного тракта. Молодой ученый, 6 (86). 55–57.
14. Федеральный закон РФ от 5 декабря 2017 г. № 373-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "О физической культуре и спорте в Российской Федерации"».
15. Lunev R.A., Volkov V.N., Stychuk A.A., Bychkova A.S. 2018 Automation of Compiling Training Programs with Consideration of Physiological Characteristics of a Person as an Electronic Service to the Population 7th international Conference on Applied Social Science , Mexico City, 142–147.

References

1. Avdeev A.V., Bychkov A.S., Kovrazhkin A., Parshina V.A. Polyakov R.G., Styczek A.A., Stechuk I.S., Warinschi A.Y. 2018. Research and analysis of existing methods in the systems of automated preparation of the training plan Information systems and technologies. 2 (106). 23–28.
2. Andreenkov A.B, Bychkova A.S. 2017. Automation system for drawing up a training plan for fitness centers. Natural science, engineering and economic research in technology, industry, medicine and agriculture: materials of the first Youth scientific and practical conference with international participation; edited by S. N. Devitsyna. 23–27.
3. Bychkova A.S, Andreenkov A.B, Zabelin S.A, Luneva O.N, Pyatin I.I 2017. Methods for calculating the need for calories for people who lead a healthy lifestyle. Fundamental and applied aspects of creating biosphere-compatible systems: proceedings of the 3rd international scientific and technical Internet conference, I. S. Turgenev OSU. 240–242.

4. Bychkova A.S., Andreenkov A.B. 2017. Automated system for keeping a user's training diary. Natural science, engineering and economic research in technology, industry, medicine and agriculture: materials of the I Youth scientific and practical conference with international participation; under the General ed. by S. N. Devitsyna. 340–343.
5. Bychkova A.S., Uzharinsky A.Yu., Surova E.A., Novikova D.S. 2019. Relevance of research in the field of creating electronic services for the population for a healthy lifestyle. Intelligent information systems: proceedings of the International scientific and practical conference, 50–53.
6. Health in Russia. 2019: Static collection Federal state statistics service (Rosstat). Moscow.
7. State Duma Committee on health protection. 2017. Questions of sports medicine should have been solved 20 years ago [Electronic resource] URL: <http://komitet2-2.km.duma.gov.ru/Novosti-Komiteta/item/252782>.
8. Lunev R.A., Volkov V.N., Stychuk A.A., Bychkova A.S. 2015. Service for automating the preparation of training programs, taking into account the physiological characteristics of a person, as an electronic service to the population. BelSU scientific Bulletin, series: Economics. Computer science. 7 (204). 132–136.
9. Luneva O.N., Novikova D.S., Surova E.A., Stychuk I.S. 2018. Automation of drawing up a plan of physical activity and nutrition for a healthy lifestyle. Information systems and technologies. 6 (110). 49–54.
10. Luneva O.N., Uzharinsky A.Yu., Bychkova A.S., Avdeev A.V., Polyakov R.G., Korovkina A.S. 2018. Relevance of the development of a service for automating the preparation of a training plan, taking into account the physiological characteristics of the user. Trends in the development of the Internet and digital economy. Proceedings of the first all-Russian scientific and practical conference with international participation. 113 s.
11. Order of the Ministry of health of the Russian Federation of December 29, 2012 N 1705n " on the procedure for organizing medical rehabilitation".
12. Russian newspaper. Diagnosis over the Internet. Telemedicine will help better treat patients 2020 [Electronic resource] URL: <https://rg.ru/2020/01/27/vracham-mogut-razreshit-stavit-predvaritelnyj-diagnoz-udaleno.html>.
13. Tulieva M.S., Rainskaya A.S. 2015. Features of nutrition of people with diseases of the gastrointestinal tract. Young scientist, 6 (86). 55–57.
14. Federal law of the Russian Federation No. 373-FZ of December 5, 2017 "on amendments to the Federal law" on physical culture and sports in the Russian Federation".
15. Lunev R.A., Volkov V.N., Stychuk A.A., Bychkova A.S. 2018 Automation of Compiling Training Programs with Consideration of Physiological Characteristics of a Person as an Electronic Service to the Population 7th international Conference on Applied Social Science , Mexico City, 142–147.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Менькова Анастасия Сергеевна, ассистент, институт приборостроения, автоматизации и информационных технологий, кафедра информационных систем и цифровых технологий, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Anastasia S. Menkova, Assistant, Institute of Instrumentation, Automation and Information Technologies, Department of Information Systems and Digital Technologies, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 004.75

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-156-167

Оценка энергоэффективности агрегирования разнородных данных в беспроводных сенсорных сетях

Павлов А.М.¹, Пожидаева И.А.²

¹ Курский государственный университет,
Россия, 305000, г. Курск, ул. Радищева, 33

² Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
имени профессора М.А. Бонч-Бруевича,
Россия, 193232, г. Санкт-Петербург, пр-т Большевиков, 22, к.1
E-mail: vka_off@mail.ru, efestion.961996@mail.ru

Аннотация. Беспроводные сенсорные сети (БСС) представляют собой перспективное направление в области развития телекоммуникационных систем. Данная статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме энергопотребления в беспроводных сенсорных сетях. Целью исследования является оценка энергоэффективности агрегирования разнородных данных в БСС. В статье рассмотрено влияние качества агрегирования данных на энергопотребление и пропускную способность БСС. Рассмотрены причины возникновения временных и пространственных корреляций данных, возникающих в БСС, определены подходы к их устранению. Предложены новые коэффициенты оценки качества агрегирования данных в БСС: коэффициент энергоэффективности агрегирования и коэффициент размера информационного пакета. Проведен анализ влияния агрегирования данных на БСС произвольной топологии. На основе математического и статистического анализа, а также с применением программных средств математического моделирования в ходе исследования был произведен расчет величин расходуемой энергии и пропускной способности, необходимых для передачи информационных пакетов, построены графики зависимостей этих величин. В результате исследования был разработан способ оценки энергоэффективности агрегирования разнородных данных в беспроводных сенсорных сетях. Представленный материал будет интересен специалистам в сфере телекоммуникаций, студентам и аспирантам технических направлений, а также может служить основой для дальнейших исследований в рассматриваемой области.

Ключевые слова: агрегирование, беспроводная сенсорная сеть, сенсорный узел, базовая станция, энергоэффективность, информационный пакет, коэффициент энергоэффективности агрегации, коэффициент размера информационного пакета.

Для цитирования: Павлов А.М., Пожидаева И.А. 2021. Оценка энергоэффективности агрегирования разнородных данных в беспроводных сенсорных сетях. Экономика. Информатика, 48 (1): 156–167. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-156-167.

Energy efficiency assessment of heterogeneous data aggregation in wireless sensor networks

Alexey M. Pavlov¹, Irina A. Pozhidaeva²

¹ Kursk State University, 33 Radishcheva St, Kursk, 305000, Russia

² Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications, 22 Bolshevikov Ave, k.1, St. Petersburg, 193232, Russia
E-mail: vka_off@mail.ru, efestion.961996@mail.ru

Abstract. The wireless sensor networks are the promising area in the development of telecommunication systems. This article is devoted to the actual problem of energy consumption in wireless sensor networks. The purpose of the study is an energy efficiency assessment of heterogeneous data aggregation in wireless sensor networks. In article is discussed the influence of data aggregation quality on energy consumption and wireless sensor networks throughput. Next the author considers the reasons of spatial and temporal correlations in wireless sensor networks and suggests ways of elimination these correlations. The author suggests new quality assessment ratios in wireless sensor networks: the energy efficient aggregation ratio and the information packet size ratio. In this article the analysis of the impact of data aggregation on wireless sensor networks of any topology was carried out. Research shows calculations of energy consumption value and throughput required for data packets transmission, which were performed using mathematical and statistical analysis and mathematical modeling software. As a result of the research the way of energy efficiency assessment of heterogeneous data aggregation on the wireless sensor networks was developed. This article will be interesting to specialists in the telecommunication area, to students and graduate students of the technical institutes and can form a basis for further researches.

Keywords: aggregation, wireless sensor network, sensor node, base station, energy efficiency, information packet, energy efficient aggregation ratio, the information packet size ratio.

For citation: Pavlov A.M., Pozhidaeva I.A. 2021. Energy efficiency assessment of heterogeneous data aggregation in wireless sensor networks. *Economics. Information technologies*, 48 (1): 156–167 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-156-167.

Введение

Одним из основных направлений при внедрении новых информационных технологий в сфере контроля различных параметров физических объектов является динамичное развитие беспроводных сенсорных сетей (БСС) [Лихтциндер и др., 2020; Кучерявый, 2007; Микитюк, 2019; Муравьев, Тараканов, 2012; Hart, Martinez, 2006]. БСС представляются перспективной и стремительно развивающейся областью, привлекающей интерес многих международных организаций, среди которых ISO, IEC, ITU-T, IEEE [Росляков и др., 2015].

В качестве известных в настоящее время БСС выступают: всепроникающие сенсорные сети (USN – Ubiquitous Sensor Network), сети для транспортных средств (VANET – Vehicular Ad Hoc Network), муниципальные сети (HANET – Home Ad hoc Network), медицинские сети (MBAN(S) – Medicine Body Area Network (services)) [Росляков и др., 2015].

Использование в сенсорных узлах (СУ) автономных элементов электропитания накладывает серьезные ограничения на жизненный цикл БСС.

Одним из возможных подходов, позволяющих одновременно минимизировать энергозатраты и снизить информационную нагрузку на беспроводные каналы передачи данных (БКПД) БСС, является агрегирование.

Агрегирование позволяет преобразовать необработанные избыточные данные сенсоров к некоторой обобщенной форме, в которой они будут переданы базовой станции (БС) БСС [Sukhchandan, Sushma, 2017; Virmani etc., 2013]. При этом за счёт передачи меньшего количества информационных пакетов снижается потребление энергии БСС в целом.

Однако все еще остаются нерешенными в полной мере задачи оценки качества агрегирования данных, оценки влияния агрегирования на энергопотребление и пропускную способность БКПД БСС.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования выступают процессы агрегирования данных в БСС. При проведении исследований использовались положения теорий: вероятностей и математической статистики [Гмурман, 2003; Бронштейн, Семендяев, 1986], передачи сигналов и кодирования [Сергиенко, 2002; Скляр, 2007], теории графов, а также пакет прикладных программ технических вычислений «Matlab» [Дьяконов, 2012].

Основная часть

Известные исследования потребления энергии БСС подтверждают, что основной расход энергии происходит в процессе осуществления беспроводной связи [Галкин, 2014; Неама, Богуславский, 2014; Киреев, 2011]. Таким образом, для снижения потребления энергии рациональным представляется решение, заключающееся в минимизации коммуникационной активности СУ БСС. Однако такое решение становится невозможным с ростом объёмов передаваемой в БКПДБСС информации. В таком случае, более эффективным является применение агрегирования данных СУ. Агрегирование данных СУ позволяет сократить затраты энергии за счёт уменьшения количества передаваемых информационных пакетов (ИП) СУ и устранения избыточности их представления.

В условиях отсутствия агрегирования в БС будут передаваться все необработанные данные СУ. Передача необработанных данных СУ имеет ряд недостатков:

растрачивание пропускной способности БКПД БСС;

отсутствие смысловой нагрузки избыточных данных БСС;

повышение вероятности перегрузки БСС в случае превышения потенциальной информационной ёмкости БКПД;

увеличение потребления энергии БСС.

В работах [Розенберг, 2015; Багутдинов и др., 2017; Vuran etc., 2004; Villas etc., 2014] показано, что избыточность необработанных данных связана с их корреляцией во времени и пространстве. Для отдельного СУ корреляция по времени возникает в случае идентичности показаний сенсоров в разные моменты времени. Корреляция в пространстве возникает, когда идентичны данные, полученные БС от нескольких СУ в один и тот же промежуток времени.

Пусть контролируемый объект условно разделен на четыре области (рис. 1).

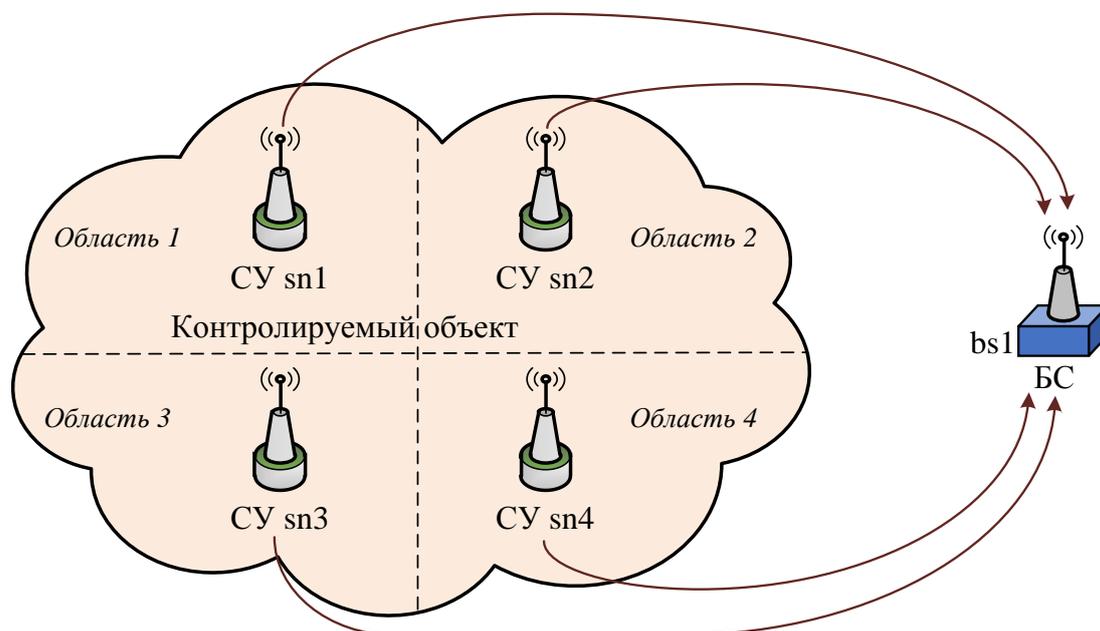


Рис. 1. Корреляция данных СУ во времени и пространстве

Fig. 1. The data correlation of sensor node in time and space

В каждой из областей физические параметры объекта контролируются одним единственным СУ: в области 1 – СУ sn_1 , в области 2 – СУ sn_2 , в области 3 – sn_3 , в области 4 – СУ sn_4 . Все сенсорные узлы однотипны:

$$sn_1 = sn_2 = sn_3 = sn_4 = sn.$$

Допустимые значения, переданные каждым СУ, дискретны и принадлежат множеству:

$$A = \{a, b, c, d, e, f\}.$$

Представим, что значения, переданные СУ в промежуток времени $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$, составили вектора:

$$\begin{aligned} sn_1 &= \{a, b, c, f\}, \\ sn_2 &= \{c, d, a, e\}, \\ sn_3 &= \{a, a, a, a\}, \\ sn_4 &= \{f, e, a, d\}. \end{aligned}$$

Тогда БС принимает матрицу значений СУ:

$$sn = \begin{bmatrix} sn_1 \\ sn_2 \\ sn_3 \\ sn_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a, b, c, f \\ c, d, a, e \\ a, a, a, a \\ f, e, a, d \end{bmatrix}.$$

Нетрудно заметить, что для сенсора sn_3 возникает корреляция значений по времени $t_1 - t_4$, а для сенсоров sn_2, sn_3, sn_4 возникает корреляция в пространстве в момент времени t_3 . На рисунке 2 показан график значений СУ $sn_1 - sn_4$ в зависимости от времени, наглядно иллюстрирующий корреляции.

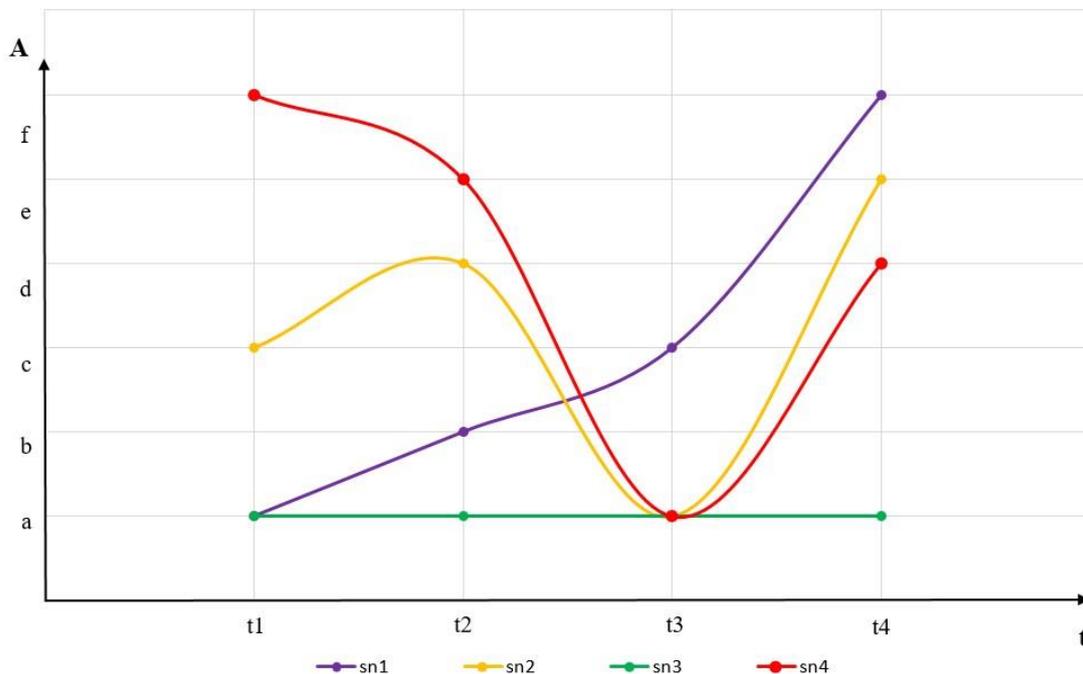


Рис. 2. График зависимостей значений показаний (N) сенсоров (sn) от времени (t)

Fig. 2. The dependencies graph of sensors (sn) indications values (N) from time (t)

В качестве примера корреляции данных СУ во времени рассмотрим реакцию СУ, оснащенного датчиком температуры DHT 22 (AM2302), на увеличение значения температуры. График показаний СУ представлен на рисунке 3.

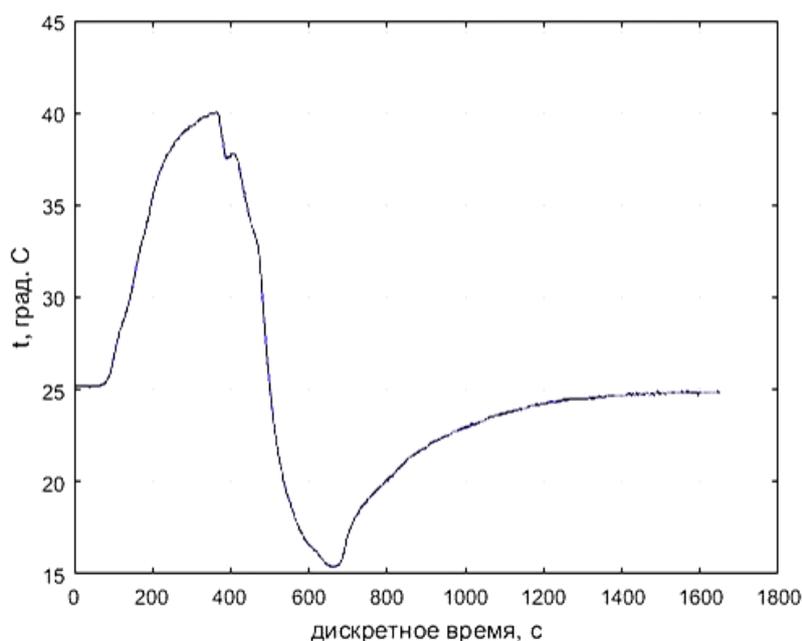


Рис. 3. Реакция СУ на увеличение температуры (с применением сенсора DHT 22 (AM2302))
 Fig. 3. Sensor node reaction to temperature increase (using the DHT 22(AM2302) sensor)

Из графика видно, что в промежутки дискретного времени $\{0-30\}$, $\{1400-1600\}$ показания практически не изменяются, а изменение показаний происходит только в период резкого увеличения температуры. В условиях медленного изменения физических параметров передаваемые БС показания СУ длительное время (от нескольких минут до нескольких часов) могут быть квазиидентичны. Таким образом, корреляция по времени СУ может сохраняться и приводить к растрачиванию пропускной способности БКПД. В рассмотренном случае применение агрегирования избыточных необработанных данных СУ, имеющих высокую степень корреляции во времени, снизит энергозатраты за счёт передачи БС обобщенного ИП с устраненной избыточностью.

Предположим, что энергетические затраты в БСС складываются из двух частей – постоянной и переменной. Постоянные энергозатраты связаны с количеством энергии, необходимой на передачу ИП СУ. Переменные энергозатраты связаны с энергетическими затратами на передачу управляющей информации СУ (например, управление маршрутизацией).

Таким образом, если постоянные энергозатраты будут неизменны (например, работа приемопередатчиков в одном режиме), тогда наибольшее влияние окажут переменные энергозатраты.

Очевидно, что значения переменной составляющей энергозатрат БСС при передаче данных с агрегированием и без него будут различны. Одно из отличий заключается в том, что количество ИП изменяется. При агрегировании количество ИП, передаваемых СУ в БС, меньше или равно количеству исходных ИП. Другое отличие заключается в изменении размера ИП. В ходе агрегации исходный размер пакетов сокращается.

Основываясь на вышеизложенном, введём два новых коэффициента оценки качества агрегации: коэффициент энергоэффективности агрегирования $K_{ЭА}$ (КЭА) и коэффициент размера ИП $K_{РИП}$ (КРИП).

Под КЭА будем понимать отношение количества ИП СУ после выполнения процедуры агрегирования данных к количеству исходных ИП СУ:

$$K_{ЭА} = \frac{n_{агр}}{n_{исх}}$$

где n_{a2p} – количество ИП СУ после выполнения процедуры агрегирования данных, n_{ucx} – количество исходных ИП СУ.

Рассчитанные значения $K_{ЭА}$ находятся в пределах диапазона (0; 1]. При этом, если $K_{ЭА} = 1$, то будем считать, что агрегирование данных не выполняется или не приводит к снижению энергозатрат, а СУ передает БС все исходные ИП. Несложно заметить, что чем меньше значение КЭА, тем меньшее количество ИП СУ передает БС, и, следовательно, тем выше энергоэффективность агрегирования.

Для расчёта фактически сэкономленной энергии можно воспользоваться формулой:

$$E_{Э} \cong E_{ЭА} \times E_{un} \times n_{ucx} \times N_{CY}, [MВт \times c],$$

где $K_{ЭА}$ – КЭА, E_{un} – энергия, затрачиваемая для передачи одного ИП от СУ к БС без агрегации, n_{ucx} – количество исходных ИП, генерируемых СУ за 1 с, N_{CY} – количество сенсорных узлов.

Под КРИП будем понимать отношение длины агрегированного ИП СУ к сумме длин исходных ИП СУ:

$$K_{РИП} = \frac{l_{a2p}}{\sum l_{ucx}},$$

где l_{a2p} – длина агрегированного ИП, $\sum l_{ucx}$ – сумма длин исходных ИП.

Так как КРИП характеризует изменение размера пакетов функцией агрегирования, то значения $K_{РИП}$ могут быть как меньше 1, так и больше её. При этом, если $K_{РИП} = 1$, то будем считать, что агрегирование данных не выполняется или не приводит к снижению общего объема передаваемых данных, а СУ передает исходный объем данных, что не приводит к экономии пропускной способности канала передачи. Таким образом, чем большая совокупная длина исходных ИП преобразуется в каждый агрегированный ИП, тем эффективнее агрегирование и большая экономия пропускной способности БКПД достигается.

Для расчёта фактически сэкономленной энергии будем считать, что для передачи одного ИП длиной l_{ucx} тратится E_{un} энергии, тогда суммарные энергозатраты на передачу n_{ucx} ИП длиной l_{ucx} составят:

$$E_{зам}^{ucx} \cong f(fE_{un}(l_{ucx}), n_{ucx}),$$

где E_{un} – энергия, затрачиваемая для передачи одного ИП от СУ к БС без агрегации, l_{ucx} – длина исходного ИП, n_{ucx} – количество исходных ИП, генерируемых СУ за 1 с.

Энергозатраты на передачу n_{a2p} пакетов длиной l_{a2p} после проведения процедуры агрегирования составят:

$$E_{зам}^{a2p} \cong f(fE_{un}(l_{a2p}), n_{a2p}),$$

где E_{un} – энергия, затрачиваемая для передачи одного ИП от СУ к БС без агрегации, l_{a2p} – длина агрегированного ИП, n_{a2p} – количество агрегированных ИП.

Тогда экономия энергии за счёт агрегирования может быть вычислена как:

$$E_{Э} \cong \Delta E \cong E_{зам}^{ucx} - E_{зам}^{a2p}.$$

Оценим методом имитационного моделирования влияние качества агрегирования на БСС произвольной топологии.

Влияние агрегирования данных на БСС произвольной топологии

Пусть существует БСС, состоящая из трёх однотипных СУ $sn_1 - sn_3$, одного маршрутизатора m_1 и одной БС bs_1 , связанной с ЦОУД по проводной линии (рис. 4). Передача ИП в рамках расчёта рассматривается в одном направлении от СУ к БС. Будем считать, что энергозатраты для передачи одного ИП длиной $l_{исх} = 128$ байт от СУ к БС составляют 1,2 мВт.

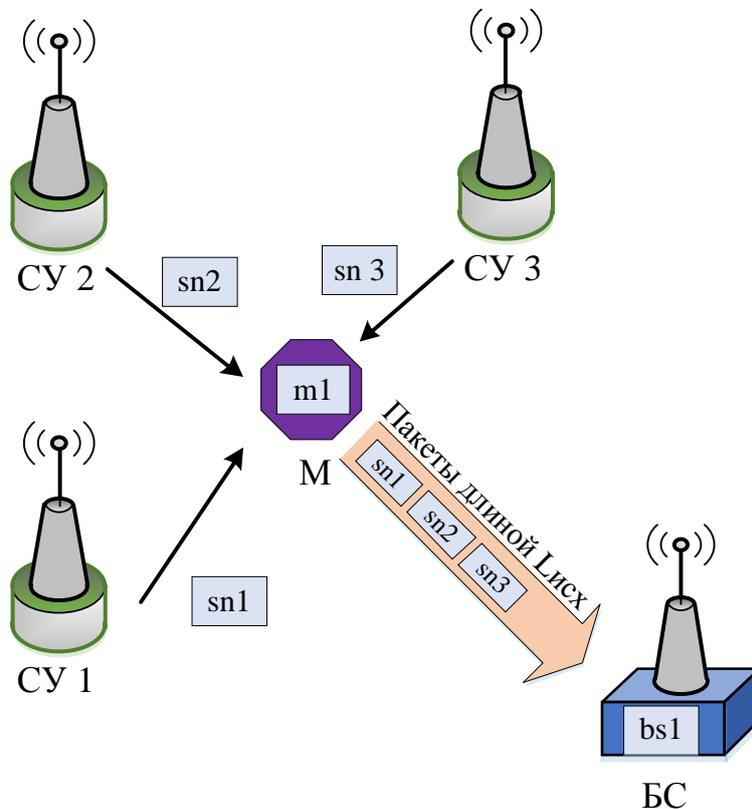


Рис. 4. БСС произвольной топологии
Fig. 4. Wireless sensor network of any topology

Каждый СУ $sn_1 - sn_3$ генерирует 10 пакетов за 1 секунду, тогда 3 сенсорных узла за 1 секунду генерируют 30 пакетов. Суммарная мощность, затраченная на передачу исходных ИП от трех СУ к БС, составит:

$$E = 30 \times 1,2 \text{ мВт} = 36 \text{ мВт} \times c .$$

Тогда за 1 минуту энергозатраты на передачу данных от СУ к БС составят:

$$E_{зат} = 36 \text{ мВт} \times 60 = 2160 \text{ мВт} \times \text{мин} = 2,16 \text{ Вт} \times \text{мин} .$$

Графики изменения энергозатрат и пропускной способности для рассмотренной БСС с энергозатратностью 2,16 Вт×мин. в зависимости от различных значений $K_{ЭА}$ и $K_{РИП}$ приведены на рисунках 5, 6, 7.

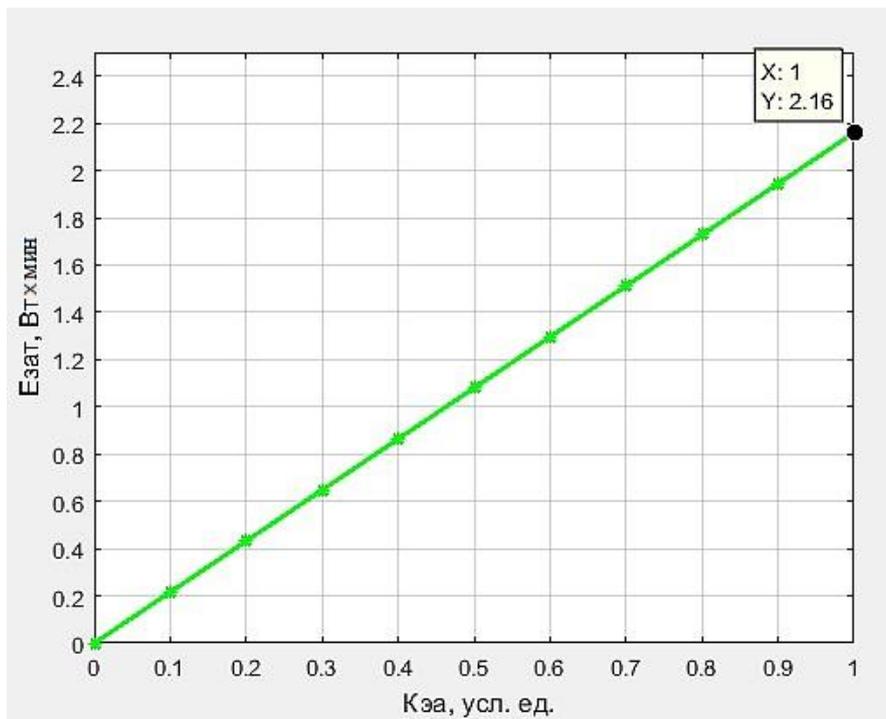


Рис. 5. График зависимости расходуемой энергии БСС ($E_{зам}$) от величины $K_{ЭА}$

Fig. 5. The dependencies graph of wireless sensor network consumed energy ($E_{зам}$) on value $K_{ЭА}$

Из графика зависимости расходуемой энергии БСС от коэффициента $K_{ЭА}$ видно, что энергозатраты БСС прямо пропорциональны коэффициенту $K_{ЭА}$, при этом функция $E_{зам}(K_{ЭА})$ подчиняется линейному закону и может быть задана уравнением прямой с угловым коэффициентом:

$$E_{зам} = k \times K_{ЭА} + b,$$

где b – действительное число, $k = \tan \alpha$ – значение тангенса угла наклона прямой к оси $K_{ЭА}$.

Аналогичным характером обладает зависимость пропускной емкости БСС от коэффициента $K_{ЭА}$, представленная на рисунке 6.

На рисунке 7 представлен график зависимости $C_{зам}(K_{РИП})$ при разных значениях $K_{ЭА}$. Из рисунка видно, что достижение тех или иных значений пропускной способности ($C_{зам}$) возможно при различных комбинациях $K_{РИП}$ и $K_{ЭА}$. Так, например, для рассмотренной БСС величина пропускной способности, равная 100 кбайт, может быть получена при следующих комбинациях: $\{K_{ЭА} = 0,6; K_{РИП} = 0,45\}$, $\{K_{ЭА} = 0,5; K_{РИП} = 0,55\}$, $\{K_{ЭА} = 0,4; K_{РИП} = 0,74\}$.

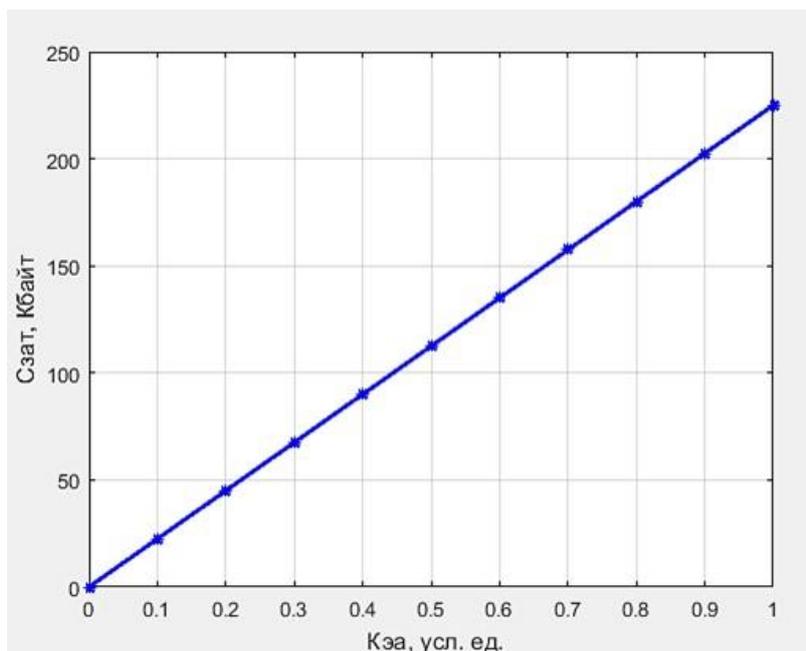


Рис. 6. График зависимости пропускной емкости БСС ($C_{зам}$) от величины $K_{за}$
 Fig. 6. The dependencies graph of wireless sensor network throughput ($C_{зам}$) on value $K_{за}$

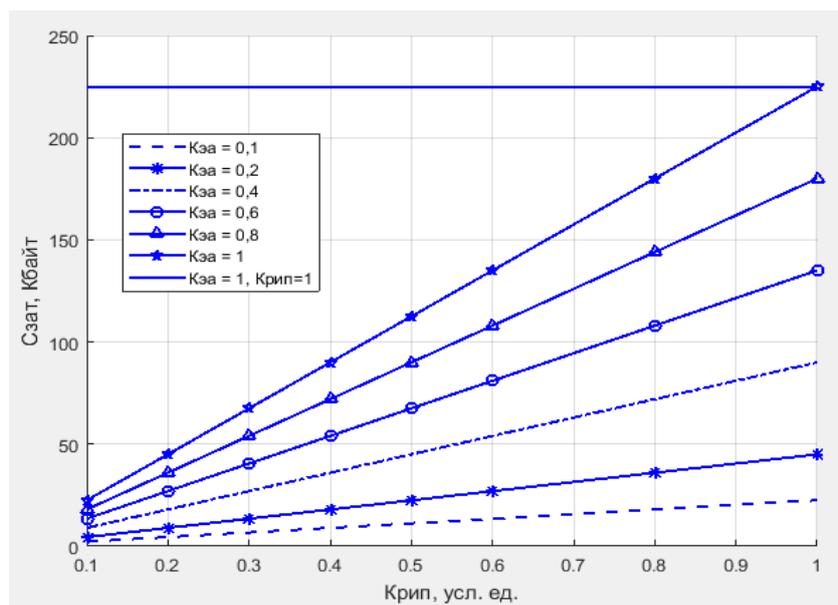


Рис. 7. График зависимости пропускной емкости БСС ($C_{зам}$) от величины $K_{рип}$ при разных значениях $K_{за}$
 Fig. 7. The dependencies graph of wireless sensor network throughput ($C_{зам}$) on value $K_{рип}$ at the different values $K_{за}$

Способ оценки энергоэффективности агрегирования данных в БСС

Исходя из вышеизложенного, можно определить последовательность действий, необходимых для оценки энергоэффективности агрегирования данных СУ:

1. Построение модели БСС;
2. Расчёт энергии, необходимой для передачи ИП от всех СУ к БС за время t без агрегирования;

3. Расчёт пропускной способности, необходимой для передачи ИП от всех СУ к БС за время (t) без агрегирования;
4. Выбор узлов агрегирования и соответствующих им функций агрегирования ИП СУ;
5. Расчёт коэффициентов $K_{ЭА}$ и $K_{РИП}$ для каждого узла агрегирования;
6. Расчёт энергии необходимой для передачи ИП от всех СУ к БС за время t с агрегированием;
7. Расчёт пропускной способности необходимой для передачи ИП от всех СУ к БС за время t с агрегированием;
8. Расчёт энергетического выигрыша путём нахождения разницы между затраченной энергией от передачи ИП от СУ к БС без агрегирования и с агрегированием.

Выводы

В данной статье было показано, что агрегирование данных оказывает непосредственное влияние на энергопотребление и пропускную способность БСС – способствует снижению энергозатратности и увеличению пропускной емкости БСС за счет изменения количества ИП, передаваемых СУ, а также за счет сокращения совокупного размера ИП. Уменьшение количества и совокупного размера ИП приводит к снижению коммуникационной активности СУ, что обеспечивает сохранение энергии. Кроме того, проведенная оценка показала, что сокращение энергозатрат БСС путем агрегирования данных СУ, приводит к снижению информационной нагрузки на БКПД.

Качество агрегирования данных зависит от коэффициентов КЭА и КРИП. Для определения значений коэффициентов КЭА и КРИП и обеспечения одно и того же уровня энергозатратности необходимо решить задачу, которая заключается в нахождении оптимальной комбинации значений коэффициентов КЭА и КРИП. Полученные значения коэффициентов могут служить метрикой для оценки БСС.

В результате проведенных исследований разработан способ оценки энергоэффективности агрегирования разнородных данных в БСС.

В качестве направлений для дальнейших исследований может выступать решение задачи оптимизации энергопотребления БСС, которая связана с нахождением оптимального соотношения значений КЭА и КРИП для каждого узла агрегирования путём подбора функций агрегирования.

Список литературы

1. Багутдинов Р.А., Небаба С.Г., Захарова А.А. 2017. Алгоритм обработки разнородных данных для мультисенсорной СТЗ на примере анализа температуры и концентрации газа. В сборнике: ГрафиКон-2017. Труды 27-й международной научной конференции (Пермь, 24–28 сентября 2017 г.). Пермь, изд-во ПГНИУ: 97–100.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. 1986. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М., Наука, 544.
3. Галкин П.В. 2014. Анализ энергопотребления узлов беспроводных сенсорных сетей. ScienceRise, 2 (2): 55–61.
4. Гмурман В.Е. 2003. Теория вероятностей и математическая статистика. М., Высш. шк., 479.
5. Дьяконов В.П. 2012. MATLAB. Полный самоучитель. М., ДМК Пресс, 768.
6. Киреев А.О. 2011. Информационно-измерительная система для мониторинга и анализа энергопотребления беспроводных сенсорных систем. Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Пенза, 22.
7. Кучерявый А.Е. 2007. Сенсорные сети как перспективное направление развития телекоммуникаций. В сборнике: 59-я Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава: Материалы. (Санкт-Петербург, 22–26 января 2007 г.). Санкт-Петербург, изд-во СПбГУТ: 5–7.
8. Лихтциндер Б.Я., Киричек Р.В., Федотов Е.Д., Голубничая Е.Ю., Кочуров А.А. 2020. Беспроводные сенсорные сети. М., Горячая Линия – Телеком, 236.
9. Микитюк Е.И. 2019. Беспроводные сенсорные сети. Молодой ученый, 261 (23): 19–21.

10. Мохсен М.Н., Богуславский И.В. 2014. Модель энергопотребления узлов беспроводной сети датчиков для увеличения времени автономной работы сети. *Advanced Engineering Research*, 14 (3): 37–44.
11. Муравьев С.В., Тараканов Е.В. 2012. Передача данных в беспроводных сенсорных сетях с приоритетами на основе агрегирования предпочтений. *Известия Томского политехнического университета*, 320 (5): 111–116.
12. Розенберг И.Н. 2015. Обработка пространственной информации. *Перспективы Науки и Образования*, 15 (3): 17–24.
13. Росляков А.В., Ваняшин С.В., Гребешков А.Ю. 2015. Интернет вещей. Самара, ПГУТИ, 200.
14. Сергиенко А.Б. 2002. Цифровая обработка сигналов. СПб., Питер, 608.
15. Склар Б. 2007. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ. М., Вильямс, 1104. (Sklar B. 2001. *Digital communications*. NJ, Prentice Hall, 1099).
16. Hart J., Martinez K. 2006. Environmental sensor networks: a revolution in the earth system science? *Earth-Science Reviews*, 78 (3): 177–191.
17. Sukhchandani R., Sushma J. 2017. Data Aggregation in Wireless Sensor Networks: Previous Research, Current Status and Future Directions. *Wireless Personal Communications*, 97 (4): 1–71.
18. Villas L.A., Boukerche A., De Oliveira H.A., De Araujo R.B., Loureiro A.A. 2014. A spatial correlation aware algorithm to perform efficient data collection in wireless sensor networks. *Ad Hoc Networks*, Vol. 12: 69–85.
19. Virmani D., Sharma T., Sharma R. 2013. Adaptive Energy Aware Data Aggregation Tree for Wireless Sensor Networks. *International Journal of Hybrid Information Technology*, 6 (1): 26–36.
20. Vuran M.C., Akan O.B., Akyildiz I.F. 2004. Spatio-temporal correlation: theory and applications for wireless sensor networks. *Elsevier Computer Networks*, 45 (3): 245–259.

References

1. Bagutdinov R.A., Nebaba S.G., Zaharova A.A. 2017. Algorithm for processing heterogeneous data for a multisensory STZ on the example of analyzing temperature and gas concentration. In: *GrafiKon-2017. Trudy 27-j mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii* (Perm, 24–28 September, 2017). Perm, Publisher: Perm State National Research University, 97–100. (in Russian).
2. Bronshtejn I.N., Semendjaev K.A. 1986. *Spravochnik po matematike dlja inzhenerov i uchashih-sja vtuzov* [A guide to mathematics for engineers and college students]. Moscow, Nauka, 544.
3. Galkin P.V. 2014. Analysis of energy consumption nodes wireless sensor networks. *ScienceRise*, 2 (2): 55–61. (in Russian).
4. Gmurman V.E. 2003. *Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika* [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Vyssh. shk., 479.
5. D'jakonov V.P. 2012. *MATLAB. Polnyj samouchitel. MATLAB* [Complete tutorial]. Moscow, DMK Press, 768.
6. Kireev A.O. 2011. *Informacionno-izmeritel'naja Sistema dlja monitoringa i analiza jenergopotreblenija besprovodnyh sensoryh sistem* [Information-measuring system for monitoring and analyzing energy consumption of wireless sensor systems.]. Avtoref. dis. ... cand. tech. sciences. Penza, 22.
7. Kucherjavj A.E. 2007. Sensor networks as a promising direction in the development of telecommunications. In: *59-ja Nauchno-tehnicheskaja konferencija professorsko-prepodavatelskogo sostava: Materialy*. (Saint Petersburg, January 22–26, 2007). Saint Petersburg, Publisher: Saint Petersburg State University of Telecommunications, 5–7. (in Russian).
8. Lihtcinder B.Ja., Kirichek R.V., Fedotov E.D., Golubnichaja E.Ju., Kochurov A.A. 2020. *Besprovodnye sensorye seti* [Wireless Sensor Networks]. Moscow, Gorjachaja Linija – Telekom, 236.
9. Mikitjuk E.I. 2019. *Wireless sensor networks*. *Molodoj uchenyj*, 261 (23): 19–21.
10. Mohsen M.N., Boguslavskij I.V. 2014. Power consumption model of wireless sensor network nodes to increase network autonomy. *Advanced Engineering Research*, 14 (3): 37–44. (in Russian).
11. Murav'ev S.V., Tarakanov E.V. 2012. Prioritized wireless sensor network data transmission based on preference aggregation. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta*, 320 (5): 111–116. (in Russian).
12. Rozenberg I.N. 2015. Spatial information processing. *Perspektivy Nauki I Obrazovanija*, 15 (3): 17–24. (in Russian).
13. Rosljakov A.V., Vanjashin S.V., Grebeshkov A.Ju. 2015. *Internet veshhej* [Internet of Things]. Samara, Publisher: Volga State University of Telecommunications and Informatics, 200.

14. Sergienko A.B. 2002. *Cifrovaja obrabotka signalov* [Digital signal processing]. Saint Petersburg, Piter, 608.
15. Sklar B. 2001. *Digital communications*. New Jersey, Prentice Hall, 1099.
16. Hart J., Martinez K. 2006. Environmental sensor networks: a revolution in the earth system science? *Earth-Science Reviews*, 78 (3): 177–191.
17. Sukhchandan R., Sushma J. 2017. Data Aggregation in Wireless Sensor Networks: Previous Research, Current Status and Future Directions. *Wireless Personal Communications*, 97 (4): 1–71.
18. Villas L.A., Boukerche A., De Oliveira H.A., De Araujo R.B., Loureiro A.A. 2014. A spatial correlation aware algorithm to perform efficient data collection in wireless sensor networks. *Ad Hoc Networks*, Vol. 12: 69–85.
19. Virmani D., Sharma T., Sharma R. 2013. Adaptive Energy Aware Data Aggregation Tree for Wireless Sensor Networks. *International Journal of Hybrid Information Technology*, 6 (1): 26–36.
20. Vuran M.C., Akan O.B., Akyildiz I.F. 2004. Spatio-temporal correlation: theory and applications for wireless sensor networks. *Elsevier Computer Networks*, 45 (3): 245–259.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Павлов Алексей Михайлович, магистр кафедры программного обеспечения и администрирования информационных систем Курского государственного университета, г. Курск, Россия

Пожидаева Ирина Александровна, магистр кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М.А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey M. Pavlov, Master of the Department of Software and Information Systems Administration, Kursk State University, Kursk, Russia

Irina A. Pozhidaeva, Master of the Department of Communication Networks and Data Transmission, St. Petersburg State University of Telecommunications named after Professor M.A. Bonch-Bruevich, St. Petersburg, Russia

УДК 004.041

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-168-177

Методы нечеткой логики в георадарных задачах

Сугак В.Г.¹, Михайлюк Е.А.², Дубовицкий А.Н.¹, Маматов Е.М.³, Маматов М.Е.³

¹ООО «Геоэксперт»

Россия, 308034, Белгород, ул. Королева, д. 2а, к. 2, оф.608

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

³Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: mikhajlyuk.ea@reliab.tech

Аннотация. В статье представлен опыт обработки результатов георадарного зондирования мелового карьера методами нечеткой логики для выделения таких признаков сигналов, которые трудно осуществлять стандартными методами в силу «размытости» или нечеткости этих признаков. Данная методика позволяет выделить дополнительную полезную информацию, прогнозировать качество и более точно оценить состояние подповерхностной структуры участка, в данном случае, степень белизны мела. В основе предлагаемого сценария лежит разработка моделей и методов выделения параметров георадарных сигналов, в частности, их фазо-частотных спектров, позволяющих установить причинно-следственные связи, влияющие на качество принятия решения при наличии совокупности мешающих факторов, на основе использования алгебры нечеткой логики.

Ключевые слова: георадар, фазо-частотный спектр, меловой карьер, нечеткая логика, меловой карьер.

Для цитирования: Сугак В.Г., Михайлюк Е.А., Дубовицкий А.Н., Маматов Е.М., Маматов М.Е. 2021. Методы нечеткой логики в георадарных задачах. Экономика. Информатика, 48 (1): 168–177. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-168-177.

Fuzzy logic methods in georadar applications

Vladimir G. Sugak¹, Ekaterina A. Mikhajlyuk², Alexander N. Dubovitskiy¹,
Evgeny M. Mamatov³, Mikhail E. Mamatov³

¹«Geoexpert», LLC

Russian Federation, 308034, Belgorod, Korolyova st, 2a, build. 2, office 608

²Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Russian Federation, 308012, Belgorod, Kostukova st., 46

³Belgorod National Research University

Russian Federation, 308015, Belgorod, Pobedy st, 85

E-mail: mikhajlyuk.ea@reliab.tech

Abstract. A theoretical justification for the development of a scenario for the subsurface structure state estimation of a chalk quarry site based on the results of GPR sounding is proposed, which allows predicting its quality, namely, the degree of whiteness. The proposed scenario is based on the development of models and methods for identifying parameters of GPR signals, in particular, their phase-frequency spectra, which make it possible to establish causal relationships that affect the quality of decision making in the presence of a combination of interfering factors. In this paper, for the first time, data on GPR sounding of a chalk quarry were obtained, showing the presence of stable signs for the selection of chalk areas with increased whiteness. Such a feature is the phase fluctuations of the reflected signals obtained at the cross-section with respect to the radiated polarization of the received signals. This requires a special antenna, in which the radiation of signals is carried out on the main polarization, and the reception is orthogonal to the radiated one. To obtain a clear conclusion about the probability of attributing the chalk

layer on the studied area of the chalk quarry to the categories of high, medium or ordinary whiteness, it is proposed to use an algorithm based on the theory of fuzzy logic.

Key words: georadar, phase-frequency spectrum, chalk quarry, fuzzy logic, chalk pit.

For citation: Sugak V.G., Mikhajlyuk E.A., Dubovitskiy A.N., Mamatov E.M., Mamatov M.E. 2021. Fuzzy logic methods in georadar applications. Economics. Information technologies, 48 (1): 168–177 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-168-177.

Введение

Развитие информационных технологий на современном этапе позволяет извлекать существенно больше информации из данных измерений, полученных при проведении всевозможных изысканий в геофизике, чем это было ранее во времена, когда соответствующая аппаратура, методика проведения измерений и интерпретации результатов только разрабатывались.

Необходимость выделения дополнительной полезной информации из данных геофизических измерений диктует необходимость усложнять методы обработки получаемых сигналов для выделения в них таких признаков, обусловленных воздействием исследуемых объектов, которые трудно осуществлять стандартными методами в силу их «размытости» или нечеткости [Замятин, 2006].

В частности, в такой области геофизики, как георадарное зондирование, часто возникает необходимость оценивать возмущения параметров отраженных сигналов, вызванные воздействием исследуемых объектов, находящихся в подповерхностном пространстве, которые являются либо слабо выраженными, либо сопровождаются сопутствующими дополнительными факторами, связанными с воздействием различного рода аномалий структуры грунта [Золотарев, 2017, 2].

Рассмотрим указанные особенности обработки и выделения полезной информации на примере применения георадарного зондирования для обнаружения аномалий, связанных со степенью белизны природного карбоната кальция или мела, в меловом карьере «Мелстром», г. Белгород.

Использование мела в производстве в качестве наполнителя позволяет существенно снизить себестоимость готовой продукции и улучшить ее качество [Гурова, Коваленко]. Уровень белизны природного карбоната кальция, используемого за рубежом в качестве пигмента, составляет 90–95 % (по Эльрефо). Для наполнителя бумаги применяют природный карбонат кальция с белизной 85–95 % и выше. В бумажной промышленности используется измельченный природный карбонат кальция высокой степени дисперсности [Маскайкин, Федотов, Кирюшин, Масляев, 2019].

Поэтому контроль степени белизны мела при разработке меловых карьеров является очень актуальной и важной задачей.

Методика

В работе впервые оценивается возможность использования специализированного георадара для определения качества мела, а именно степени его белизны, в слое от поверхности выработки до глубины в несколько метров на примере мелового карьера «Мелстром», г. Белгород. Данный меловой карьер является типовым для многих регионов России [Сергеев, Сидорова, 1950, Мощанский, 1975, Sugak, Dubovitsky, 2018]. В качестве георадара использовался экспериментальный макет радиолокатора подповерхностного зондирования со ступенчатым изменением несущей частоты в диапазоне 150–300 мГц, разработанный компанией «Геоэксперт», г. Белгород [Sugak, Sugak, 2010]. Антенна георадара позволяет излучать сигналы с выбранной поляризацией и принимать поочередно сигналы на согласованной и ортогональной к излучаемой поляризациях. В указанной антенне использовано электронное переключение двух взаимно перпендикулярных щелей

треугольной формы, прорезанных в металлическом корпусе с помощью электронного коммутатора, осуществляющего согласование волнового импеданса антенн с кабелем и переключение щелей антенны на прием или передачу. В результате антенна позволяет принимать и после обработки отраженных сигналов получать их полную поляризационную матрицу.

Так как в литературе отсутствует какая-либо информация об опыте применения георадара для решения указанной задачи, то методика изысканий и методы обработки сигналов разрабатывались практически с нуля.

Изыскания проводились на нескольких площадках мелового карьера «Мелстром», г. Белгород (рис. 1) размерами порядка 20x10 м, которые были отобраны его сотрудниками по результатам лабораторных измерений. Всего было выбрано 4 площадки (2 участка с мелом повышенной белизны, 1 участок с мелом средней белизны и 1 участок с обычным мелом), представленные на карте карьера (рис. 1).

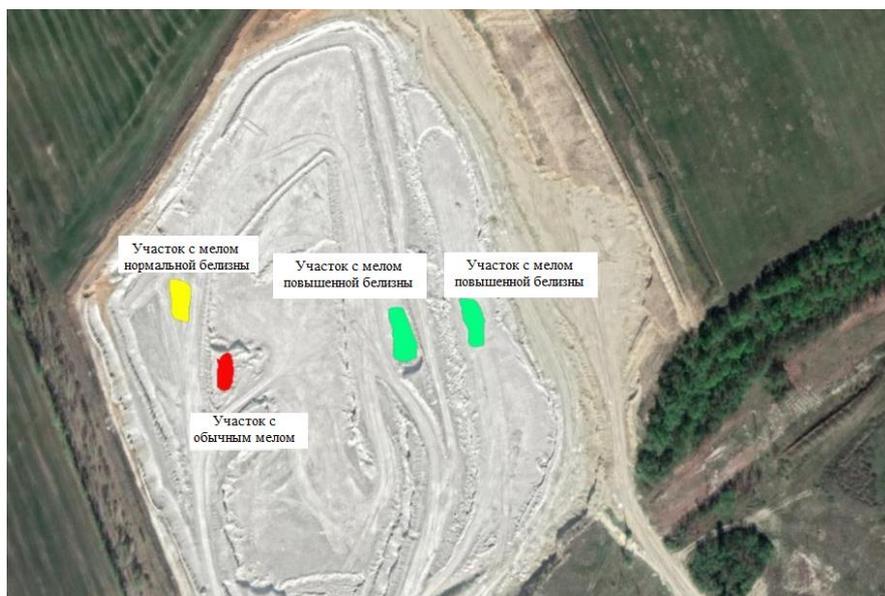


Рис. 1. Карта мелового карьера

Fig. 1. Chalk pit map

Данные зондирования, полученные на указанных выше участках, сравнивались между собой и с данными, полученными в лаборатории мелового карьера по образцам, взятым в каждом исследуемом участке, для выявления характерных признаков в георадарных сигналах, которые могли бы в будущем лечь в основу технологии выявления мела повышенной белизны.

На каждой площадке зондирование проводилось в среднем по 4-м параллельным профилям движения георадара. В результате получались радиолокационные изображения сечения грунта по каждому из профилей. В дальнейшем для анализа использовались радиолокационные изображения фазовой структуры сигналов (рис. 1) по каждому из указанных профилей, так как только на них удавалось обнаружить признаки, позволяющие отличить участки с мелом повышенной белизны от других участков с нормальной и обычной белизной.

Оценка возможности применения специализированного георадара для определения степени белизны мела

Наибольшие отличительные признаки присутствия на исследуемом участке мела повышенной белизны выделяются на изображениях фазовой структуры отраженных сигналов (фазо-частотных спектров) – и только на ортогональной к излученной поляризации этих сигналов. Изображения фазовой структуры сигналов описывают поведение изолиний

фазо-частотного спектра отраженных сигналов [Яхьяева, 2012], в которых ось ординат соответствует глубине от поверхности грунта, ось абсцисс – дистанции, пройденной георадаром при движении по поверхности вдоль выбранного направления, а ряд квазипараллельных кривых – изолиний фазовой структуры сигналов, соответствующих пересечению фазо-частотного спектра отраженных сигналов нулевого значения фазы. По расстоянию между изолиниями и их флуктуациями можно судить о физических свойствах среды зондирования и аномалий в ней [Яхьяева, 2012].

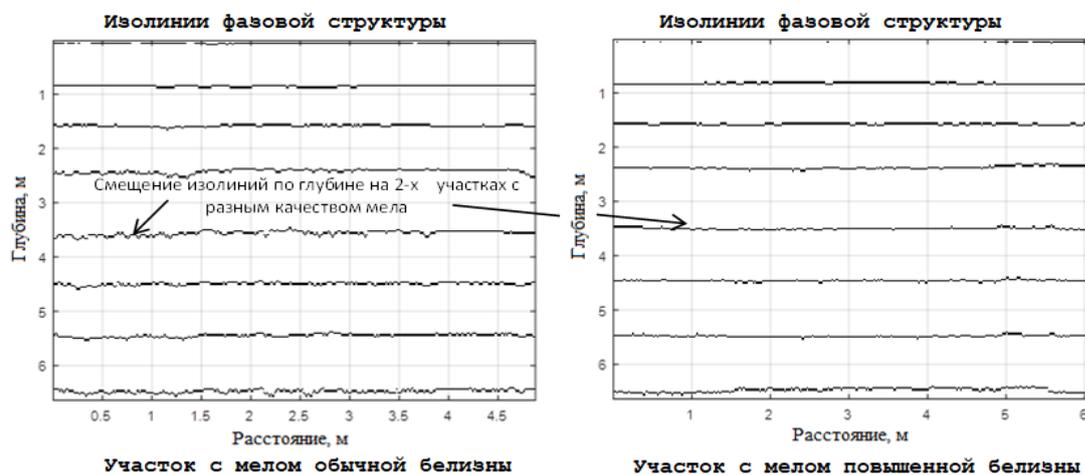


Рис. 2. Изображения фазовых структур на участке с мелом обычной белизны (левый рисунок) и с мелом повышенной белизны (правый рисунок)

Fig. 2. Images of phase structures in an area with chalk of normal whiteness (left figure) and with chalk of increased whiteness (right figure)

На основе полученных предварительных результатов, не вдаваясь в детали обработки сигналов, так как этот материал доступен в большей степени специалистам в области георадарного зондирования, удалось сделать следующие выводы: во-первых, наблюдаются отличия в фазовых структурах сигналов, проявляющиеся в том, что наличие фракций примесей материалов, отличных от чистого мела на участках с мелом обычной белизны, приводят к увеличению флуктуаций фазы сигналов (флуктуации глубины изолиний) в разных элементах объема мела по мере движения георадара вдоль выбранного профиля. Причем этот эффект проявляется на кроссовой к излученной поляризации отраженных сигналов, что требует применения специальных антенн, о которых сказано выше. Вывод иллюстрирует рис. 2, на котором приведены изолинии фазовой структуры отраженных сигналов (рисунки представляют изображения, полученные на 2-х разных профилях). По мере роста глубины наблюдается увеличение флуктуаций фазы отраженных сигналов, соответствующих второму участку с мелом обычного качества. Ось абсцисс соответствует точкам зондирования вдоль профиля движения георадара (всего было пройдено расстояние около 15–20 м). Видно, что флуктуации фазы сигналов накапливаются с глубиной и отличия начинают проявляться уже на глубине около 2–3 м. Во-вторых, указанный эффект наблюдался практически по всем профилям движения георадара на выбранных участках, что позволяет характеризовать его как устойчивый признак, по которому можно обнаруживать и отличать участки карьера с мелом разной степени белизны. Среднеквадратичные значения флуктуаций фазы, соответствующие третьей по счету изолинии фазовой структуры сигналов от поверхности по всем профилям движения на участке с мелом повышенной белизны (левые гистограммы) и участке с обычной белизной (правые гистограммы), приведены в таблице 1. Видно, что наблюдаются существенно большие (на 20–30 %) значения среднеквадратичных отклонений, соответствующих участку с мелом обычной белизны. Этот эффект можно использовать для разработки алгоритма автоматического обнаружения участков с мелом повышенной белизны без использования экспер-

ных оценок, проводимых оператором. В таблице 2 приведены наибольшие среднеквадратичные значения флуктуаций фазы 4-х первых от поверхности изолиний, начиная с глубины 1,3 м. Видно, что в целом наблюдаются существенно большие флуктуации этой фазы на участках с мелом обычной и средней белизны. Однако существуют отдельные профили на участках мела с повышенной белизной, на которых этот вывод не подтверждается. Является ли это следствием того, что на этих профилях наблюдаются существенные отклонения указанных признаков от предполагаемых или на этих участках существуют только локальные зоны с мелом повышенной белизны, пока выяснить не удалось вследствие отсутствия априорной информации.

Таблица 1
Table 1

Среднеквадратичные значений флуктуаций третьей изолинии
фазовой структуры сигналов по глубине
Root mean square values of fluctuations of the third isoline
of the phase structure of signals over depth

| Номер профиля движения георадара на участке | Значение σ , [м] | |
|---|------------------------------------|---------------------------------|
| | Участок с мелом повышенной белизны | Участок с мелом обычной белизны |
| 1 | 0,076 | 0,1 |
| 2 | 0,087 | 0,1 |
| 3 | 0,083 | 0,104 |
| 4 | 0,089 | 0,11 |

Таблица 2
Table 2

Наибольшие среднеквадратичные значения флуктуаций фазы 4-х первых изолиний
The largest root mean square values of phase fluctuations of the first 4 isolines

| Номер профиля движения георадара | Значение σ , [м] | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Участок с мелом повышенной белизны | Участок с мелом средней белизны | Участок с мелом обычной белизны | Участок с мелом обычной белизны |
| 1 | 0,270 | 0,025 | 0,200 | 0,037 |
| 2 | 0,030 | 0,037 | 0,025 | 0,039 |
| 3 | 0,055 | 0,500 | 0,040 | 2,000 |
| 4 | 0,045 | 0,020 | 0,500 | 0,045 |

В-третьих, наблюдается также стабильное небольшое, порядка 10–20 см, смещение по глубине изолиний фазовой структуры на крессовой к излучаемой поляризации сигнала на участке с мелом средней и обычной белизны в сторону больших значений по сравнению с участком с мелом повышенной белизны. Этот результат также говорит в пользу модели, в которой предполагается, что в структуре мела обычной белизны присутствуют примеси, которые слегка увеличивают диэлектрическую проницаемость, что и приводит к смещению изолиний фазовой структуры по глубине на соответствующем участке. На рис. 2 показан этот эффект и указаны изолинии, на которых максимально наблюдается это смещение. Кроме того, видно также, что флуктуации фазы изолинии на участке с мелом обычной белизны больше соответствующих флуктуаций на участке с мелом повышенной белизны.

Таким образом, результаты зондирований хотя и показывают положительные тенденции в появлении таких характеристик сигналов, которые можно использовать для идентификации нужных аномалий структуры мела по глубине, но их проявления являются нечеткими. Выделять такие структурные признаки классическими методами обработки

сигналов, основанными, например, на применении метода максимального правдоподобия, не представляется возможным.

Поэтому представляет интерес применить методы обработки таких сигналов, основанные на алгоритмах нечеткой логики [Пегат, 2009].

Использование элементов теории нечетких множеств для обоснования вывода о степени белизны мела по данным георадарного зондирования

Базовые понятия в теории нечетких множеств кратко сводятся к следующим [Григорьева, Гареева, Басыров, 2018]. Пусть E – универсальное множество, X – элемент E , а R – некоторое свойство. Обычное (четкое) подмножество A универсального множества E , элементы которого удовлетворяют свойству R , определяется как множество упорядоченных пар $A = \{\mu_A(x)/x\}$, где $\mu_A(x)$ – характеристическая функция принадлежности (или просто функция принадлежности), принимающая значения в некотором вполне упорядоченном множестве M (например, $M = [0,1]$). Функция принадлежности $\mu_A(x)$ указывает степень (уровень) принадлежности элемента X подмножеству A . Если $M = \{0,1\}$, то нечеткое подмножество A может рассматриваться как обычное или четкое множество. Нечеткое множество отличается от обычного тем, что для элементов X из подмножества E нет однозначного ответа (да – нет) относительно свойства R . В связи с этим нечеткое подмножество A универсального множества E определяется как множество упорядоченных пар.

Если полное множество, например, U , состоит из конечного числа элементов u_i , $i = 1, 2, \dots, n$, то нечеткое множество F можно представить в следующем виде:

$$F = \mu_A(X_1)/X_1 + \mu_A(X_2)/X_2 + \dots + \mu_A(X_n)/X_n, \quad (1)$$

где "+" означает не сложение, а, скорее, объединение: символ "/" показывает, что значение относится к элементу, следующему за ним (а не означает деление).

Над нечеткими множествами, как и над обычными, можно выполнять математические операции, например, такие как дополнение множества, объединение и пересечение множеств.

Основой для проведения операции нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания в форме «если то» и функция принадлежности для соответствующих лингвистических терминов. При этом должны соблюдаться следующие условия:

1. Существует хотя бы одно правило для каждой лингвистической выходной переменной.
2. Для любого термина выходной переменной имеется хотя бы одно правило, в котором этот термин используется в качестве целевой части правила.
3. В противном случае имеет место база нечетких правил.

В данной работе использовался нечеткий логический вывод по алгоритму Мамдани [14] по нечеткой базе знаний по формуле:

$$F = \mu_A(X_1)/X_1 + \mu_A(X_2)/X_2 + \dots + \mu_A(X_n)/X_n, \quad (2)$$

в которой значения входных и выходной переменных заданы нечеткими множествами. Тогда функцию принадлежности $\mu_{jp}(x_i)$ входа нечеткому терму можно определить по следующей формуле

$$a_{i,jp} = \int_{x_{i,min}}^{x_{i,max}} \mu_{jp}(x_i) \backslash x_i. \quad (3)$$

В ходе обработки результатов зондирования рассматривался комплексный подход к формированию количественных показателей, характеризующих объект изысканий, заключающийся в использовании метода и правил нечеткой логики. Иными словами, необходимо было принимать решения при дешифрировании анализируемых данных с учетом косвенных признаков. Данная задача сводится к оптимальному поиску распознаваемых

элементов на изображении, их предварительной классификации с целью извлечения максимального количества дешифровочных признаков и определения соответствующих им количественных оценок. Принятие единственно правильного решения об обнаруживаемом объекте возможно, если в основе моделей при описании свойств объекта используется обоснованный выбор факторов возмущений с оценкой силы их максимального воздействия на объект. При анализе свойств и структуры аномалии иногда необходимо дополнительно учитывать влияние совокупности факторов, связанных с разными отраслями наук, такими как геофизика, биология, химия и пр. Все эти факторы описываются большим числом трудно определяемых переменных, взаимосвязи между которыми установить не всегда просто. Для решения таких задач приходится делать довольно сильные упрощающие допущения, формулируемые в указанных выше математических терминах.

В ходе обработки результатов зондирования было обнаружено влияние среднеквадратичных значений флуктуаций фазы из 4-х первых от поверхности изолиний, начиная с глубины 1,3 м на вывод о наличии участка мела с повышенной белизной. Каждому эксперту в процессе опроса предлагалось оценить с позиции исследователя принадлежность среднеквадратичного значения флуктуации изолиний фазовой структуры сигналов к тому или иному классу качества мела в отношении его белизны. Эксперты давали свою оценку для каждого такого класса по 10-балльной шкале (где 1 – min, 10 – max). Для перехода к универсальной шкале [0,1], все значения 10-балльной шкалы оценки ценности были разделены на максимальную оценку 10. Влияние наличия смещения по глубине изолиний фазовой структуры сигналов, соответствующих крессовой поляризации сигнала на участке с мелом повышенной белизны, пока не изучено полностью, поэтому на данном этапе этот признак пока не введен в функцию принадлежности.

В нечетком логическом выводе по алгоритму Мамдани [Григорьева, Гареева, Басыров, 2018] для перехода от нечеткого множества, заданного на универсальном множестве нечетких термов $\{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ к нечеткому множеству, необходимо:

1. «Срезать» функции принадлежности $\mu_{dj(y)}$ на уровне $\mu_{dj(x)}$;
2. Объединить (агрегировать) полученные нечеткие множества. Математически это записывается следующим образом:

$$\tilde{y} = \text{agg}_{j=1, m} \left(\int_{Y_{\min}}^{Y_{\max}} \min \left(\mu_{dj}(X), \mu_{dj}(y) \right) \right), \quad (4)$$

где *agg* – агрегирование нечетких множеств, которое наиболее часто реализуется операцией нахождения максимума.

Четкое значение выхода y , соответствующее входному вектору X^* , определяется в результате дефаззификации нечеткого множества. Наиболее часто применяется дефаззификация по методу центра тяжести:

$$y = \frac{\int_{Y_{\min}}^{Y_{\max}} y \mu_{dj}(y)}{\int_{Y_{\min}}^{Y_{\max}} \mu_{dj}(y)}. \quad (5)$$

На рис. 3 показана графическая реализация алгоритма определения вероятности выявления участка с мелом повышенной белизны при полученном в результате измерений среднеквадратичной величины флуктуаций фазы равной 0,056 (предполагалось, что эта величина соответствует участку карьера с мелом повышенной белизны). В результате эта вероятность (центр тяжести результата дефаззификации) получилась равной 0,73, что дает основание подтвердить выводы о наличии мела повышенной белизны на этом участке.

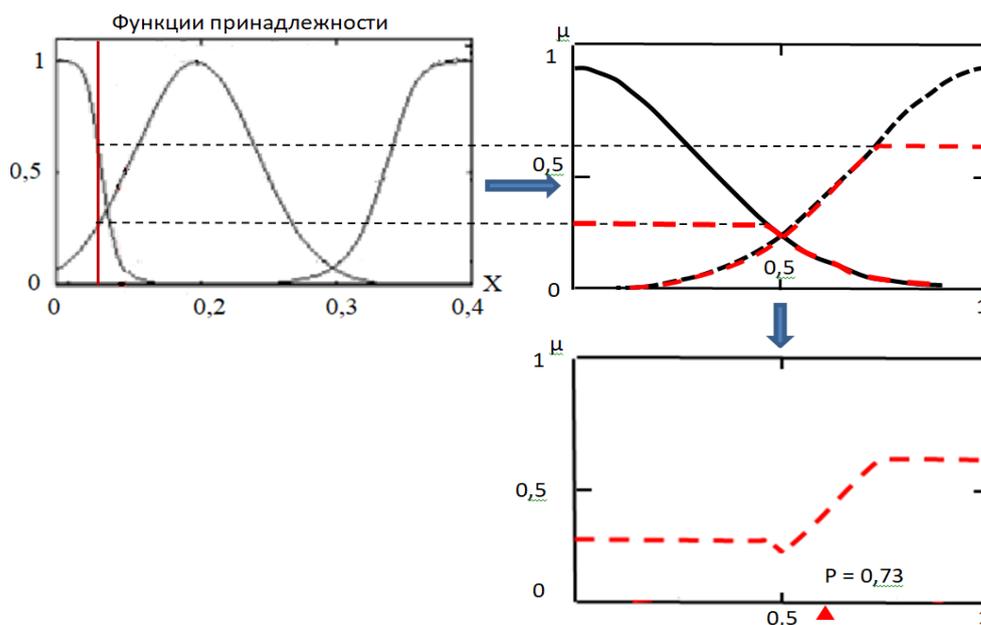


Рис. 3 Графическая интерпретация алгоритма Мамдани получения вероятности отнесения исследуемого участка к мелу, обладающему повышенной белизной

Fig. 3. Graphical interpretation of the Mamdani algorithm of obtaining the probability of assigning the studied area to a chalk with increased whiteness

Выводы

В работе впервые получены данные по георадарному зондированию мелового карьера, показывающие наличие устойчивых признаков для выделения участков мела, обладающих повышенной белизной. В качестве такого признака выступают флуктуации фазы отраженных сигналов, полученные на крессовой по отношению к излучаемой поляризации принимаемых сигналов. Для этого требуется специальная антенна, в которой излучение сигналов осуществляется на основной поляризации, а прием – на ортогональной к излученной.

Для получения четкого вывода о величине вероятности отнесения слоя мела на исследуемом участке мелового карьера к категориям повышенной, средней или обычной белизны, предлагается использовать алгоритм, основанный на теории нечеткой логики.

Список литературы

1. Григорьева Д.Р., Гареева Г.А., Басыров Р.Р. 2018. Основы нечеткой логики: Учебно-методическое пособие к практическим занятиям и лабораторным работам. Набережные Челны: НЧИ КФУ. 42.
2. Замятин А.Л. 2006. Повышение информативности исследования геологической среды на основе георадарного зондирования: Горн. информ.-аналит. бюл. 6. 130–132.
3. Золотарев В.П. 2017. Современные тенденции развития георадарного оборудования: Инженерные изыскания. 12: 46–51.
4. Корсунов Н.И., Торопчин Д.А. 2016. Метод классификации изображений на основе кластеризации сложных объектов. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Экономика. Информатика. 23 (40): 100–104.
5. Маскайкин В.Н., Федотов Ю.Д., Кирюшин А.В., Масляев В.Н. 2019. Месторождения сырья для минеральных красителей на территории Мордовии: Современные проблемы территориального развития. (2).
6. Мощанский В.А. 1975. О микростроении и классификации мелов: Литология и полезные ископаемые. 3: 67–77.
7. Опыт применения георадарных технологий в дорожном хозяйстве. Режим доступа: [<https://files.stroyinf.ru/Data1/56/56239/index.htm#i378430>].

8. Обзорная информация. Гурова А.В., Коваленко А.Н. Вся правда о меловых добавках. Режим доступа: [<https://alenmel.ru/stati/vsya-pravda-o-melovykh-dobavkah>].
9. Пегат А. 2009. Нечеткое моделирование и управление. М.: Бином. Лаборатория знаний. 798.
10. Свойства и применение мела. Режим доступа: [http://newchemistry.ru/printletter.php?n_id=5935]
11. Сергеев Е.М., Сидорова Г.А. 1950. К вопросу о составе и свойствах меловых толщин Воронежской области: Вестник МГУ. Серия физ. -мат. и ест. наук. 12: 133–143.
12. Яхьяева Г.Э. 2012. Нечеткие множества и нейронные сети: учебное пособие. 2 изд. М.: Интернет-Ун-т Информ. Технологий: Бином. Лаборатория знаний. 315.
13. Goodman I.R. 1982. Fuzzy sets as equivalence classes of random sets. Fuzzy Set and Possibility Theory: Recent Developments. New York-Oxford-Toronto-Sydney-Paris-Frankfurt, Pergamon Press. 327–343.
14. Sugak V.G., Dubovitsky A. N. 2018. Antenna Aperture Synthesis For SFCW GPR in a Medium with Frequency Dispersion of Radio-Waves Propagation Phase Velocity. 2018 IEEE International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory. 185–187.
15. Sugak V.G., Sugak A.V. 2010. Phase Spectrum of Signals in Ground Penetrating Radar Applications. IEEE Trans. On Geoscience & Remote Sensing. (48): 1760–1767.

References

1. Experience in the application of georadar technologies in the road sector. Access mode: [<https://files.stroyinf.ru/Data1/56/56239/index.htm#i378430>].
2. Goodman I.R. 1982. Fuzzy sets as equivalence classes of random sets. Fuzzy Set and Possibility Theory: Recent Developments. New York-Oxford-Toronto-Sydney-Paris-Frankfurt, Pergamon Press. 327–343.
3. Grigorieva D.R., Gareeva G.A., Basyrov R R. 2018. Foundations of fuzzy logic: Teaching aid for practical training and laboratory work. Naberezhnye Chelny: NCY KAZAN FEDERAL UNIVERSITY. 42.
4. Korsunov N.I., Toropchin D.A. 2016. Image classification method based on clustering of complex objects. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics Information technologies. 23 (40). 100–104.
5. Maskaikin V.N., Fedotov Yu.D., Kiryushin A.V., Maslyayev V.N. 2019. Deposits of raw materials for mineral dyes on the territory of Mordovia: Modern problems of territorial development. (2).
6. Moshansky V. 1975. A. About microstructure and classification of chalk: Lithology and useful minerals. 3. 67–77.
7. Overview information. Gurova A.V., Kovalenko A.N. The Whole truth about chalk's additives. Access mode: [<https://alenmel.ru/stati/vsya-pravda-o-melovykh-dobavkah>].
8. Pegat A. 2009. Fuzzy Modeling and Control. Moscow: Binomial. Laboratory of Knowledge. 798.
9. Properties and application of chalk. - Access mode: [http://newchemistry.ru/printletter.php?n_id=5935].
10. Sergeev E.M., Sidorova G.A. 1950. On the question of the composition and properties of chalk thicknesses of the Voronezh region: MSU Bulletin. Series of physical, mathematical and natural sciences. 12. 133–143.
11. Sugak V.G., Dubovitsky A.N. 2018. Antenna Aperture Synthesis For SFCW GPR in a Medium with Frequency Dispersion of Radio-Waves Propagation Phase Velocity. 2018 IEEE International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory. 185–187.
12. Sugak V.G., Sugak A.V. 2010. Phase Spectrum of Signals in Ground Penetrating Radar Applications. IEEE Trans. On Geoscience & Remote Sensing. (48). 1760–1767.
13. Yakhyayeva G.E. 2012. Fuzzy Sets and Neural Networks: the Schoolbook. 2 ed., Moscow: Internet University of Information Technologies: Binomial. Laboratory of Knowledge. 315.
14. Zamyatin A.L. 2006. Increasing the information content of the study of the geological environment based on georadar probing: Mining information and analytical bulletin. 6. 130–132.
15. Zolotarev V.P. 2017. Modern trends in the development of georadar equipment: Engineering surveys. 12. 46–51.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сугак Владимир Григорьевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный консультант ООО «Геоэксперт», г. Белгород, Россия

Михайлюк Екатерина Андреевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем БГТУ им. В.Г. Шухова., доцент кафедры автоматизированных информационных систем управления СТИ НИТУ «МИСиС», г. Белгород, Россия

Дубовицкий Александр Николаевич, генеральный директор ООО «Геоэксперт», г. Белгород, Россия

Маматов Евгений Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Маматов Михаил Евгеньевич, студент Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir G. Sugak, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, a leading scientific advisor "Geoexpert" LLC, Belgorod, Russia

Ekaterina A. Mikhajlyuk, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Engineering and Automated Systems Software Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, National research technological University MISIS, Belgorod, Russia

Alexander N. Dubovitskiy, CEO, "Geoexpert", LLC. Belgorod, Russia

Evgeny M. Mamatov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies Belgorod National Research University. Belgorod, Russia

Mikhail E. Mamatov, student of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 004.5

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-178-187

Метод эмоционального прогнозирования в онлайн-собеседовании

Алейников С.А.¹, Сорокина С.А.¹, Офицеров А.И.²

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,

Российская Федерация, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А

² Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации, Российская Федерация, 302025, г. Орёл, ул. Приборостроительная, 35

E-mail: aleynikov.sergey.a@gmail.com, ssofia.sorokina.12@gmail.com, oficerow@mail.ru

Аннотация. В настоящее время наблюдается значительный рост интереса к цифровым технологиям со стороны бизнеса. Многие компании, в основном малого и среднего бизнеса, переносят интервью и переговоры в системы аудио- и видеоконференцсвязи, руководители крупных компаний также заявляют о необходимости трансформации функции HR в онлайн-формат путем внедрения новых технологий. СМИ публикуют все больше информации о широких возможностях инструментов для реализации данных технологий и невероятных результатах их внедрения. Так, с 2021 года ряд ведущих банков России планирует внедрить в свою деятельность программы, которые будут считывать эмоции клиентов во время телефонного разговора и при посещении им офиса кредитной организации. Однако исследования показывают, что пользователи нередко оказываются разочарованными полученными результатами в связи с ощутимой потерей легкости восприятия мультимодальности информационных потоков. Наличие указанных противоречий требует исследования и разработки новых подходов к проведению онлайн-интервьюирования. Рассмотренный в статье принципиально новый метод эмоционального прогнозирования позволит предсказать успех результата собеседования, определяемого интерактивно задаваемыми пользователем параметрами, что в конечном итоге должно привести к полному снятию проблемы трансформации функции HR в онлайн-формат.

Ключевые слова: мультимодальность, онлайн-интервьюирование, анализ психоэмоционального состояния, эмоциональное прогнозирование, машинное обучение.

Для цитирования: Алейников С.А., Сорокина С.А., Офицеров А.И. 2021. Метод эмоционального прогнозирования в онлайн-собеседовании. Экономика. Информатика, 48 (1): 178–187. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-178-187.

Method of emotional forecasting in online interviewing

Sergey A. Aleynikov¹, Sofia A. Sorokina¹, Alexandr I. Ofitserov²

¹ ITMO University, 49 Kronverkskiy Ave, Petersburg, 197101, Russia

² Academy of Federal Security Guard Service of Russian Federation,
35 Priborostoitelnaia St., Orel, 302015, Russian Federation

E-mail: aleynikov.sergey.a@gmail.com, ssofia.sorokina.12@gmail.com, oficerow@mail.ru

Abstract. Currently, there is a significant increase in interest in digital technologies on the part of businesses. Many companies, mostly small and medium-sized businesses, are moving interviews and negotiations to audio and video conferencing systems, and CEOs of large companies are also declaring the need to transform the HR function into an online format by implementing new technologies. The media publish more and more information about the wide possibilities of tools for implementing these technologies and the incredible results of their implementation. For example, since 2021 a number of Russia's leading banks plan to introduce programs that will read the emotions of clients during a phone conversation and when they visit the office of the credit institution. However, researches show that users are often disappointed with the results obtained due

to the noticeable loss of ease of perception of multimodality of information flows. The presence of these contradictions requires research and development of new approaches to online interviewing. The fundamentally new method of emotional prediction considered in the article will allow predicting the success of an interview result determined by interactively user-defined parameters, which should eventually lead to the complete removal of the problem of HR function transformation in the online format.

Keywords: multimodality, online interviewing, psycho-emotional analysis, emotional forecasting, machine learning.

For citation: Aleinikov S.A., Sorokina S.A., Officerov A.I. 2021. Method of emotional forecasting in online interviewing. Economics. Information technologies, 48 (1): 178–187 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-178-187.

Введение

Межличностное общение очень многопланово и многомодально, в зависимости от целей, средств, условий протекания, направленности оно может проявляться в разнообразных видах и формах. Коммуникативная сторона общения связана с одновременной передачей разномодальной информации: с помощью устной и письменной речи в ее смысловом значении (вербально); посредством разнообразных действий (невербально) [Zuckerman et al., 1981]. При этом с помощью различных форм и средств вербальной коммуникации, подчиняющихся строгим нормам и правилам, кодируется определенная информация и передается собеседнику. В свою очередь невербальная коммуникация осуществляется посредством оптикокинетики системы знаков, включающей в себя группы реакций: вегетативных (моргание, вздох, сглатывание), мимических (улыбка, движение носом), пантомимических (движение головой, плечами, смена позы) и др. Данный способ коммуникации внешне выражает личностное развитие собеседника, его внутренний мир. Вербальная и невербальная коммуникации почти всегда тесно взаимосвязаны: в реальных монологах, диалогах и полилогах собеседники зачастую объединяют эти две части в единое целое [Jones, LeBaron, 2002]. Однако в условиях наблюдаемого сегодня (в постковидную эпоху) роста объема и интенсивности использования инфокоммуникационных средств для межличностного общения технологии невербальной коммуникации оказываются функционально ограниченными и не позволяют их пользователям регулировать течение коммуникативного процесса, создавать психологический контакт с собеседником, обогащать передаваемую вербальными средствами информацию, однозначно выражать эмоции и отражать истолкование ситуации. Зачастую процессы коммуникации могут проходить с определенными трудностями, связанными с противоположной интерпретацией одной и той же информации собеседниками, что может привести к различным коммуникативным барьерам: логическому, стилистическому, семантическому, фонетическому и др.

Указанные противоречия связаны с наличием нескольких факторов. Объективными факторами являются: низкое качество предоставляемых каналов связи (низкая скорость передачи данных) и неблагоприятная акустическая окружающая среда, в которой используется техническое средство передачи сообщений. К субъективным факторам относятся: проблемы трансформации формально-ролевого общения в деловое, при котором, наряду с обменом информацией, необходимо учитывать особенности личности собеседника, его настроение, физиологическое и психоэмоциональное состояния; повышенная скорость изменения ситуации и увеличение объема передаваемой информации, требующие от собеседников повышения эффективности своих действий в процессе коммуникации. Наличие этих противоречий приводит к снижению эффективности межличностного общения – увеличению времени, необходимого для достижения целей такой коммуникации, а значит, для их разрешения необходимо исследовать принципиально новые подходы и методы, которые позволили бы повысить эффективность такого общения (например, в ходе собеседования при приеме на работу) за счет учета и более детального рассмотрения невербального ком-

понента, а также правильной его интерпретации. Применение эмоционального прогнозирования при этом позволит построить эффективную структуру интервью для оценки кандидата в ходе вербального и невербального общения при проведении онлайн-собеседования.

Объекты и методы исследования

В последние годы наибольшую популярность приобретает автоматизация основных этапов процесса поиска и отбора кандидатов на замещение вакантных должностей компаний в различных сферах деятельности (рис. 1).



Рис. 1. Общее представление о сервисе трудоустройства

Fig. 1. A general view of employment service

Об эффекте автоматизации рутинных и бюрократических задач, как правило, сложно найти много дискуссий, т. к. HR-менеджмент давно признал необходимость этого процесса. Интеллектуальный анализ вакансий, роботы-рекрутеры для проведения телефонных и видеоразговоров с клиентами, оценка кандидатов с помощью кейсов, профессионально-психологических тестов и геймификации активно внедряются в функции рекрутинга многих зарубежных и отечественных компаний. Если говорить об использовании более сложных технологий, то сотрудники функции HR считают, что искусственный интеллект в первую очередь экономит время (76 %), минимизирует предвзятое отношение (43 %), выявляет наиболее подходящих кандидатов (31 %), экономит деньги (30 %) [HR партнер, 2019]. Согласно аналитическому обзору «Будущее HR 2019» одной из крупнейших в мире сетей, оказывающих профессиональные аудиторские услуги, КПМГ, 70 % руководителей HR-подразделений признают необходимость преобразования трудовых ресурсов и 40 % из них отмечают, что уже имеют готовый план работы в цифровой среде на уровне организации или HR-функции.

Одним из самых важных этапов в процессе поиска и отбора кандидатов является собеседование. Соискатель хочет произвести положительное впечатление, выглядеть безукоризненно, казаться сверхпрофессиональным и не наговорить лишнего в деловом интервью. Как показывает практика рекрутинга, не все сказанное произносится вслух, говорить за человека может его тело: каждый взмах рукой, поворот головы, морщинка на лице выдает гораздо больше информации о человеке, чем вербальное общение. Согласно научным данным, даже самый опытный и уверенный в себе кандидат умеет контролировать свою мимику и жесты лишь первые 20 минут, а собеседование, как правило, длится дольше. Это значит, что интервьюер легко сможет узнать о человеке то, что тот желает скрыть.

Исследования в области HR показывают, что собеседование при приеме на работу наиболее целесообразно реализовывать в форме структурированного интервью, состоящего из нескольких основных этапов, последовательно следующих друг за другом:

1) *вводная часть*, включающая в себя: рассказ о цели собеседования, о компании, о предлагаемой должности; ряд «светских» вопросов для создания атмосферы расслабленности и доверия, которые условно можно разделить на нейтральные (о погоде, проведенных выходных и т. д.) и контрольные (о пробках на дорогах, о социально значимых проблемах и т. п.);

2) *основная часть*, включающая в себя вопросы, требующие развернутых ответов кандидатов;

3) *выход из интервью* – когда получена вся необходимая информация, кандидату целесообразно задать несколько «расслабляющих» вопросов, произнести пару фраз, обещающих мягкое окончание интервью и оповестить его о дальнейших планах.

Для оказания помощи руководителю или HR-менеджеру необходимо разработать генератор вопросов, которые будут выводиться во время проведения онлайн-собеседования с кандидатом. При этом для первой и третьей части пул этих вопросов должен быть сформирован заблаговременно, учитывая необходимость разделения вопросов на нейтральные и контрольные, а в ходе собеседования – выбираться случайным образом из соответствующего пула. Во второй (основной) части онлайн-собеседования работодателю рекомендуется уточнять ключевые (спорные) моменты, полученные по результатам (см. рис. 1):

а) сравнительного анализа резюме и вакансии;

б) извлечения данных открытых источников;

в) результатов профессионально-психологического тестирования.

При проведении онлайн-собеседования крайне важно правильно определить возможность перехода от первого этапа (вводная часть) к его основной части. Критерием для этого может служить «создание атмосферы расслабленности и доверия», при этом нужно установить момент, когда кандидат, проходящий собеседование, после начального периода волнения начинает испытывать эмоции «довольство» или, если он до таких эмоций не дойдет, то спустя заданный интервал времени, – нейтральные эмоции [Plutchik, 1991].

В настоящее время существуют способы обнаружения эмоций в ходе анализа контента, передаваемого по видеоканалам [Fan et al., 2016; Williams et al., 2018], сервисы распознавания устной речи и звуков [Fayek et al., 2017; Lim et al., 2016], а также анализаторы письменного текста [Calefato et al., 2017; Batbaatar et al., 2019]. Более того, в ряде исследований описаны методы, позволяющие распознавать психоэмоциональное состояние человека на основе мультимодальности: одни исследователи при этом комбинируют видео- и аудиосообщения [Liu et al., 2018; Noroozi et al., 2017], другие работают с комбинацией акустических и текстовых данных [Yoon et al., 2018; Sailunaz et al., 2018]. Однако большинство доступных в настоящее время методов имеют высокую вычислительную сложность, что приводит к длительным задержкам при передаче разномодальной информации. В ходе обработки качественного изображения скорость его анализа даже на мощных компьютерах недостаточно высока для работы с текущим видеопотоком в режиме реального времени. Учитывая, что целевая аудитория для решения проблем онлайн-ограничений в постковидную эпоху состоит в основном из владельцев малого и среднего бизнеса, возникают трудности с реализацией существующих методов мультимодального анализа.

Самый очевидный способ справиться с проблемой необходимости ограничения скорости в случае анализа видеопотоков – это снизить качество изображения. Однако этот вариант может рассматриваться только в том случае, если процесс выполняется на предварительно записанных данных, а не в режиме реального времени. Еще один недостаток такого подхода – снижение непосредственно качества выдаваемых результатов, что может иметь решающее значение в связи с тем, что результатом анализа должен быть максимально близкий к оригинальному набор факторов, и различия не должны быть замечены невооруженным глазом человека.

Существующие методы анализа потока аудиоданных также несовершенны. И если технологии распознавания речи в настоящее время находятся на высоком уровне, а теку-

щие результаты исследований в данной области помогают нам достаточно эффективно проанализировать семантическую часть речи [Vryzas et al., 2018], то компоненты интонации до сих пор не изучены должным образом. Поскольку устная речь состоит из двух основных модулей – звукового (включая интонацию) и смыслового (семантического) [Jurafsky, 2000], только комплексный анализ дает возможность различать эмоциональные состояния речи. В ходе реального общения, например, в процессе собеседования при приеме на работу, работодателю важно анализировать не только внешние эмоции, выраженные на лице, но и внутреннее настроение кандидата: распознавать интонации речи на предмет наличия пассивной агрессии, выявлять саркастические и/или иронические выражения и соотносить невербальные признаки (частые моргания, резкие движения носом, плечами и т. д.) с эмоциональными проявлениями собеседника.

Однако самым большим ограничением существующих методов является то, что они способствуют только наблюдению за текущей эмоцией, не уделяя при этом никакого внимания контексту ее появления. В процессе онлайн-собеседования работодатель зачастую сталкивается с ситуациями, когда важнее анализировать не какие эмоции выразил кандидат, а что их спровоцировало. Поэтому предлагаемый в работе метод эмоционального прогнозирования включает в себя анализ всех перечисленных выше характеристик: данные в реальном времени с видео и акустических каналов, запись реакций (эмоций) в течение всего общения в масштабе времени, а также интерпретация изменений эмоционального состояния кандидата и прогноз успешного исхода собеседования.

Поскольку предложенный метод не только связан с информатикой и вычислениями, но также и с психологией, большое внимание при эмоциональном прогнозировании необходимо уделять на способы оценки и классификации эмоций. Психоэмоциональное состояние человека – это многоуровневая характеристика, доминирующую роль в формировании которой играет основная эмоция, возникающая в ходе реакции на конкретное событие [Korenevskiy et al., 2013]. Градация эмоции является основанием для построения компетентного эмоционального прогноза.

Эмоциональный прогноз: результаты и интерпретация

Основная часть эмоционального прогнозирования и его главное преимущество связаны с записью эмоциональных изменений во времени по отношению к контексту вопросов собеседования. Изменения психоэмоционального состояния кандидата в ходе интервьюирования можно зафиксировать с помощью аудио- и видеопотоков (оба потока доступны через системы видеоконференцсвязи). В рамках данной статьи мы не станем подробно останавливаться на технических аспектах распознавания эмоций, лишь отметим, что реализация метода эмоционального прогнозирования осуществлялась с использованием системы видеоконференцсвязи Zoom, а в дальнейшем больше внимания уделим самому прогнозированию.

В ходе видеоконференции работодатель (интервьюер) задает вопросы, которые также могут записываться с помощью модулей распознавания речи [Васильев, 2020]. Система также обучена распознавать ответы интервьюируемого. В процессе анализа психоэмоционального состояния кандидата при прохождении онлайн-собеседования в реальном времени фиксируются все его реакции на задаваемые вопросы. При изменении эмоционального состояния кандидата модуль автоматически сопоставляет вопрос интервьюера с реакцией опрашиваемого. Одной из важнейших задач для составления правильного эмоционального прогноза является определение ложности (истинности) передаваемой в процессе коммуникативного взаимодействия информации по динамике параметров невербального поведения кандидата, позволяющего повысить оперативность и точность такого определения посредством применения метода эмоционального прогнозирования.

Для решения данной задачи необходимо осуществить изучение динамики невербального поведения с выделением наиболее информативных его параметров, сгруппированных на основе факторного анализа в группы вегетативных, мимических и пантомими-

ческих реакций, а также выявление характерной для каждого кандидата тенденции изменений по каждому параметру и/или группе параметров (рис. 2).

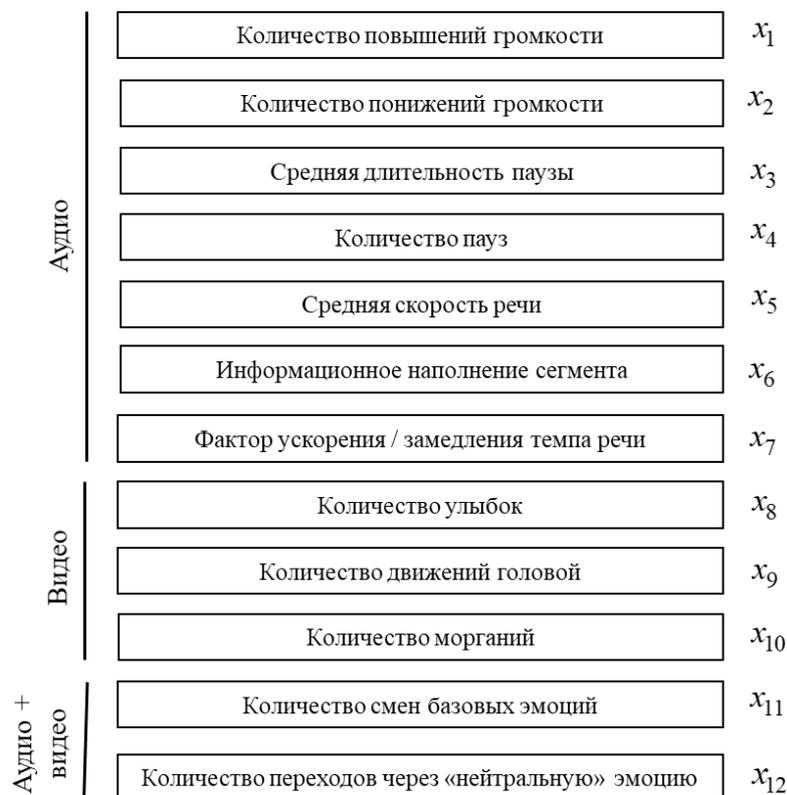


Рис. 2. Невербальные параметры, используемые для определения истинности (ложности)

Fig. 2. Nonverbal parameters used to determine truth (falsehood)

В процессе проведения структурированного интервью при ответах на вопросы нейтрального и контрольного характера регистрируют параметры невербального поведения человека, а затем осуществляют изучение динамики невербального поведения. После выявления характерной для исследуемого кандидата тенденции изменений по каждому параметру и/или группе параметров регистрируют параметры его невербального поведения в процессе коммуникативного взаимодействия посредством инфокоммуникационной системы. Вывод о ложности (истинности) передаваемой информации осуществляется путем сравнения реакции, зарегистрированной в процессе коммуникативного взаимодействия с реакцией на вопросы нейтрального и/или контрольного блоков вопросов, зарегистрированной в процессе структурированного интервью. Решаемая одновременно с данной задачей обнаружения эмоций по голосу обеспечивает повышение точности определения кратковременного эмоционального состояния кандидата на онлайн-собеседовании, а также позволяет определить ряд долговременных психоэмоциональных нарушений, таких как тревога, депрессия, агрессия, аутоагрессия.

Правильность и эффективность такого подхода подтверждается корреляционным анализом, результаты которого подтверждают актуальность применения метода эмоционального прогнозирования. Выделены следующие общие тенденции в динамике параметров невербального поведения кандидатов в ситуации произнесения ими ложной информации по сравнению с ситуацией произнесения истинной информации: а) уменьшение количества движений головой (83,3 % случаев в среднем на 25,8 %); б) увеличение количества пауз (46,25 % случаев в среднем на 54,08 %); в) увеличение количества улыбок (58,3 % случаев в среднем на 114,47 %); г) увеличение количества понижений громкости (58,3% случаев в среднем на 195,89 %); д) увеличение количества морганий (50 % случаев в среднем на 2,29 %). В остальных случаях направление динамики анализируемых параметров

невербального поведения кандидатов на собеседовании носит индивидуальных характер и может изменяться как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

Факторный анализ, отражающий оценку общности для каждой переменной по квадрату коэффициента множественной корреляции данной переменной с остальными переменными, позволил выделить три фактора на основе иерархического метода объединения полученных данных (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Результаты факторного анализа
Factor analysis results

| Фактор 1 | | | | | |
|----------|-------|-------|----------|----------|----------|
| x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 |
| 0,98 | 0,98 | 0,93 | 0,9 | 0,88 | 0,82 |
| Фактор 2 | | | Фактор 3 | | |
| x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} | x_{12} |
| 0,79 | 0,99 | 0,75 | 0,62 | 0,99 | 0,92 |

Распределения показателей внутри выделенных факторов (см. табл. 2) характеризуются устойчивостью и сохраняются на всех этапах структурированного интервью. Перечисленные факторы отражают исключительно невербальное поведение и рассматриваются как основные, что не исключает применения ряда дополнительных параметров, например, связанных с оценкой параметрических показателей, отражающих электрическую активность сердца, головного мозга, других органов и систем человека, с выделением на их основе дополнительных факторов. Основным критерием их дополнительного включения является изменение их параметров в рамках канонов психофизиологии, что позволяет сделать вывод об истинности (ложности) передаваемой исследуемым лицом информации.

Работодатель (интервьюер) также получает доступ к транскрипции диалога с указанием точного времени заданных вопросов и полученных ответов, а также истинности или ложности ответов кандидата.

Заключительный шаг эмоционального прогнозирования – предсказание результата собеседования. Основываясь на проанализированных эмоциональных сериях, искусственная нейронная сеть может предсказать, насколько успешным будет оставшийся диалог. В настоящее время современным свёрточным нейронным сетям требуется от 15 до 20 минут анализа данных, чтобы предсказать успешный результат с точностью до 0,75.

Крайне важным является возможность нейронной сети, обученной, в том числе на основе правил метода эмоционального прогнозирования, выдать однозначную рекомендацию о досрочном прекращении собеседования по следующим критериям:

1) по временным характеристикам: при повторяющемся (заданное количество раз) превышении установленного отношения длительности ответа к длительности вопроса;

2) по эмоциональным характеристикам кандидата:

а) при сохранении заданного отношения периода времени, на протяжении которого сохраняются нейтральные и положительные эмоции, к общей длительности интервью;

б) при превышении заданного отношения периода времени, на протяжении которого преобладают отрицательные эмоции (грусть, злость, отвращение, презрение, страх), к общей длительности интервью;

3) по характеристикам искренности кандидата:

а) при превышении заданного числа ложных ответов;

б) при превышении заданного отношения периода времени, на протяжении которого сохраняются ложные ответы, к общей длительности интервью.

Для реализации данной возможности необходимо начинать обработку ответа сразу после того, как работодатель начал задавать следующий вопрос.

Полученные результаты имеют большое теоретическое и практическое значение для различных сфер жизнедеятельности. Несмотря на то, что изначально продукт задумывался как помощник для владельцев малого и среднего бизнеса, которые не могут содержать полноценный кадровый отдел, полученный в ходе исследования метод может быть применен в любых удаленных переговорах на основе видеоконференцсвязи.

Для расширения области применения разработанного метода необходимо оптимизировать его таким образом, чтобы разговоры трех и более человек можно было анализировать без значительных потерь качества. В этом случае необходимо более подробно изучить формат полилога и предложить решения по оптимизации эмоционального прогнозирования, чтобы он включал возможность построения трех и более параллельных прогнозных направлений для каждого из участников деловых переговоров.

Заключение

В настоящее время едва ли не самым существенным фактором успешного развития является среда, в которой функционируют организации. COVID-19 и кризис экономики заставляют менеджмент сосредоточиться на специфических, зачастую уникальных, задачах. В первую очередь, компании нуждаются в продуктах, обеспечивающих эффективную удаленную работу и хорошую коммуникацию, т. к. сотрудники становятся все менее нетерпеливыми к отрицательному техническому опыту. Тем не менее специфической особенностью постковидной эпохи является то, что в период кризиса менеджмент все меньше заинтересован в технологиях, и вместо этого думает о том, как «остаться на плаву». В такое сложное время проекты могут быть реализованы успешно только в случае полного соответствия их предназначения текущим задачам организации.

В рамках проведенного исследования проанализированы существующие методы сбора и анализа аудио- и видеоданных (для динамического выявления эмоционального состояния). Предложен метод эмоционального прогнозирования, обеспечивающий предсказание результатов онлайн-собеседования. С учетом недостатков имеющихся методик сформулированы требования по оптимизации процесса анализа состояния собеседника, определены направления дальнейшего развития разработанного метода. Установлены следующие векторы развития (добавление речевой семантики, увеличение скорости составления эмоционального развития), и развитие метода продолжает сокращать временные затраты и возможности в аспекте выдачи оценочной и рекомендательной обратной связи об успешности переговоров.

Список литературы

1. HR партнер, 2019. Выпуск Цифровизация HR: эволюция или революция? 3. URL: https://universitetrzd.ru/wp-content/uploads/2019/12/1-2019_HR-partner_-1-1.pdf (дата обращения: 18.12.2020)
2. Бондаренко В.А., Максаев А.А., Шумакова И.А. 2020. Инновационный подход к управлению деятельностью вуза на основе применения HR-брендинга. Экономика. Информатика. 47 (1): 47–54.
3. Васильев Р.А. 2020. Применение методов фонетического анализа речи для выявления эмоционально устойчивых и нестабильных студентов университета. Научный результат. Информационные технологии. 5 (2).
4. Рубцова О.В., Панфилова А.С., Смирнова В.К. 2018. Исследование взаимосвязи личностных особенностей подростков с их поведением в виртуальном пространстве (на примере социальной сети «ВКонтакте»). Психологическая наука и образование. 23 (3): 54–66.
5. Смирнов А.В., Безручко В.В., Басов О.О. 2019. Теоретические основы построения социкиберфизических систем. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 46 (3): 532–539.
6. Batbaatar E., Li M., Ryu K.H. 2019. Semantic-emotion neural network for emotion recognition from text. IEEE Access. 7: 111866–111878.

7. Calefato F., Lanubile F., Novielli N. 2017. EmoTxt: a toolkit for emotion recognition from text. 2017 seventh international conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops and Demos (ACIIW). IEEE. 79–80.
8. Fan Y. et al. 2016. Video-based emotion recognition using CNN-RNN and C3D hybrid networks. Proceedings of the 18th ACM International Conference on Multimodal Interaction. 445–450.
9. Fayek H.M., Lech M., Cavedon L. 2017. Evaluating deep learning architectures for Speech Emotion Recognition. Neural Networks. 92: 60–68.
10. Jones S.E., LeBaron C.D. 2002. Research on the relationship between verbal and nonverbal communication: Emerging integrations. Journal of communication. 52 (3): 499–521.
11. Jurafsky D. 2000. Speech & language processing. Pearson Education India.
12. Korenevskiy N. et al. 2013. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional. 4th International Conference on Biomedical Engineering in Vietnam. Springer, Berlin, Heidelberg. 213–216.
13. Kort B., Reilly R., Picard R. W. 2001. An affective model of interplay between emotions and learning: Reengineering educational pedagogy-building a learning companion. Proceedings IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies. IEEE. 43–46.
14. Lim W., Jang D., Lee T. 2016. Speech emotion recognition using convolutional and recurrent neural networks. 2016 Asia-Pacific signal and information processing association annual summit and conference (APSIPA). IEEE. 1–4.
15. Liu C. et al. 2018. Multi-feature-based emotion recognition for video clips. Proceedings of the 20th ACM International Conference on Multimodal Interaction. 630–634.
16. Noroozi F. et al. 2017. Audio-visual emotion recognition in video clips. IEEE Transactions on Affective Computing. 10 (1): 60–75.
17. Plutchik R. 1991. The emotions. University Press of America.
18. Sailunaz K. et al. 2018. Emotion detection from text and speech: a survey. Social Network Analysis and Mining. 8 (1): 28
19. Vryzas N. et al. 2018. Speech emotion recognition adapted to multimodal semantic repositories. 2018 13th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation and Personalization (SMAP). IEEE. 31–35.
20. Williams J. et al. 2018. Recognizing emotions in video using multimodal DNN feature fusion. Proceedings of Grand Challenge and Workshop on Human Multimodal Language (Challenge-HML). 11–19.
21. Yoon S., Byun S., Jung K. 2018. Multimodal speech emotion recognition using audio and text. 2018 IEEE Spoken Language Technology Workshop (SLT). IEEE. 112–118.
22. Zuckerman M., DePaulo B.M., Rosenthal R. 1981. Verbal and nonverbal communication of deception. Advances in experimental social psychology. Academic Press. 14: 1–59.

References

1. HR Partner, 2019. Release Digitalization of HR: Evolution or Revolution? 3. URL: https://universitetzrd.ru/wp-content/uploads/2019/12/1-2019_HR-partner_-1-1.pdf (Address date: 18.12.2020)
2. Bondarenko V.A., Maksaev A.A., Shumakova I.A. 2020. Innovative approach to management of university activity based on application of HR-branding. Economics. Information technologies. 47 (1): 47–54.
3. Vasilyev R.A. 2020. Application of methods of the phonetic analysis of speech for identification of emotionally steady and unstable students of university. Scientific result. Information technologies. 5(2).
4. Rubtsova O.V., Panfilova A.S., Smirnova V.K. 2018. Research of interrelation of personal features of teenagers with their behavior in virtual space (on an example of a social network of "VKontakte"). Psychological science and education. 23 (3): 54–66.
5. Smirnov A.V., Bezruchko V.V., Basov O.O. 2019. Theoretical bases of the construction of cyberphysical system development. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. 46 (3): 532–539.
6. Batbaatar E., Li M., Ryu K. H. 2019. Semantic-emotion neural network for emotion recognition from text. IEEE Access. 7: 111866–111878.
7. Calefato F., Lanubile F., Novielli N. 2017. EmoTxt: a toolkit for emotion recognition from text. 2017 seventh international conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops and Demos (ACIIW). IEEE. 79–80.

8. Fan Y. et al. 2016. Video-based emotion recognition using CNN-RNN and C3D hybrid networks. Proceedings of the 18th ACM International Conference on Multimodal Interaction. 445–450.
9. Fayek H.M., Lech M., Cavedon L. 2017. Evaluating deep learning architectures for Speech Emotion Recognition. Neural Networks. 92: 60–68.
10. Jones S.E., LeBaron C.D. 2002. Research on the relationship between verbal and nonverbal communication: Emerging integrations. Journal of communication. 52 (3): 499–521.
11. Jurafsky D. 2000. Speech & language processing. Pearson Education India.
12. Korenevskiy N. et al. 2013. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional. 4th International Conference on Biomedical Engineering in Vietnam. Springer, Berlin, Heidelberg. 213–216.
13. Kort B., Reilly R., Picard R. W. 2001. An affective model of interplay between emotions and learning: Reengineering educational pedagogy-building a learning companion. Proceedings IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies. IEEE. 43–46.
14. Lim W., Jang D., Lee T. 2016. Speech emotion recognition using convolutional and recurrent neural networks. 2016 Asia-Pacific signal and information processing association annual summit and conference (APSIPA). IEEE. 1–4.
15. Liu C. et al. 2018. Multi-feature-based emotion recognition for video clips. Proceedings of the 20th ACM International Conference on Multimodal Interaction. 630–634.
16. Noroozi F. et al. 2017. Audio-visual emotion recognition in video clips. IEEE Transactions on Affective Computing. 10 (1): 60–75.
17. Plutchik R. 1991. The emotions. University Press of America.
18. Sailunaz K. et al. 2018. Emotion detection from text and speech: a survey. Social Network Analysis and Mining. 8 (1): 28
19. Vryzas N. et al. 2018. Speech emotion recognition adapted to multimodal semantic repositories. 2018 13th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation and Personalization (SMAP). IEEE. 31–35.
20. Williams J. et al. 2018. Recognizing emotions in video using multimodal DNN feature fusion. Proceedings of Grand Challenge and Workshop on Human Multimodal Language (Challenge-HML). 11–19.
21. Yoon S., Byun S., Jung K. 2018. Multimodal speech emotion recognition using audio and text. 2018 IEEE Spoken Language Technology Workshop (SLT). IEEE. 112–118.
22. Zuckerman M., DePaulo B.M., Rosenthal R. 1981. Verbal and nonverbal communication of deception. Advances in experimental social psychology. Academic Press. 14: 1–59.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алейников Сергей Андреевич, инженер, аспирант ИКТ, Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия; разработчик интерфейсов ООО «Яндекс.Технологии» г. Москва, Россия
ORCID ID: 0000-0002-6884-2322

Сорокина Софья Андреевна, Инженер НИЦР, магистрант ФЦТ Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия
ORCID ID: 0000-0001-9159-5203

Офицеров Александр Иванович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
ORCID ID: 0000-0002-4379-6948

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey A. Aleynikov, Engineer ITMO University, Petersburg, Russia, Frontend developer Yandex. Technologies LLC, Moscow, Russia
ORCID ID: 0000-0002-6884-2322

Sofia A. Sorokina, Engineer ITMO University, Petersburg, Russia
ORCID ID: 0000-0001-9159-5203

Alexandr I. Ofitserov, Candidate of Technical Sciences, employee of the Academy of Federal Security Guard Service of Russian Federation,
ORCID ID: 0000-0002-4379-6948

УДК 519.6

DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-1-188-200

Возможности преобразования Вейля – Гейзенберга в стандарте сжатия JPEG

Волчков В.П., Асирян В.М.

Московский технический университет связи и информатики,
Россия, 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8а
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Россия, 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4
E-mail: volchkovvalery@mail.ru, E-mail: dmc5mod@yandex.ru

Аннотация. Данная статья посвящена разработке и исследованию новой технологии сжатия на основе базисов Вейля – Гейзенберга (WH-технологии) для модификации стандарта сжатия JPEG и улучшения его характеристик. С этой целью в работе анализируются основные этапы алгоритма сжатия JPEG, отмечаются его ключевые особенности и узкие места, ограничивающие дальнейшее повышение его эффективности. Для преодоления этих ограничений предлагается на этапе трансформационного кодирования вместо дискретного косинусного преобразования (DCT) использовать вещественный вариант дискретного ортогонального преобразования Вейля – Гейзенберга (DWHT). Это преобразование, в отличие от DCT, изначально имеет блочную структуру и строится на основе оптимального сигнального базиса Вейля – Гейзенберга, функции которого ортогональны и хорошо локализованы как в частотной, так и во временной области. Данная особенность DWHT позволяет обеспечить после трансформационного кодирования более эффективную декорреляцию и уплотнение значений элементов в каждом блоке изображения. Как следствие – получить более эффективную селекцию и отсеивание малозначимых элементов на последующих этапах квантования и информационного кодирования. В статье на основе DWHT разрабатывается новая версия алгоритма сжатия JPEG, предлагаются удобные критерии оценки эффективности сжатия и метрики качественных потерь. Приводятся результаты экспериментального исследования, подтверждающие более высокую эффективность сжатия у предложенного алгоритма по сравнению со стандартом сжатия JPEG.

Ключевые слова: сжатие изображений, JPEG кодек, дискретное косинусное преобразование, преобразование Вейля – Гейзенберга, субдискретизация, квантование.

Для цитирования: Волчков В.П., Асирян В.М.. 2021. Возможности преобразования Вейля – Гейзенберга в стандарте сжатия JPEG. Экономика. Информатика, 48 (1): 188–200. DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-188-200.

Weyl – Heisenberg transform capabilities in JPEG compression standard

V.P. Volchkov, V.M. Asiryan

Moscow Technical University of Communications and Informatics,
8a Aviamotornaya St., 111024, Moscow, Russia
National University of Science and Technology MISiS,
4 Leninsky prospekt, 119049, Moscow, Russia
E-mail: volchkovvalery@mail.ru, E-mail: dmc5mod@yandex.ru

Abstract. This article is devoted to the development and research of a new compression technology based on Weyl-Heisenberg bases (WH-technology) for modifying the JPEG compression standard and improving its characteristics. For this purpose, the paper analyzes the main stages of the JPEG compression algorithm, notes its key features and problems that limit further enhancement of its efficiency. To overcome these limitations, it is proposed to use the real version of the two-

dimensional discrete orthogonal Weyl-Heisenberg transform (DWHT) instead of the discrete cosine transform (DCT) at the stage of transformation coding. This transformation, unlike DCT, initially has a block structure and is built on the basis of the Weyl-Heisenberg optimal signal basis, the functions of which are orthogonal and well localized both in the frequency and time domains. This feature of DWHT allows for more efficient decorrelation and compression of element values in each block of the image after transformation coding. As a result, it is possible to obtain more efficient selection and screening of insignificant elements at the subsequent stages of quantization and information coding. Based on DWHT, a new version of the JPEG compression algorithm was developed, and convenient criteria for evaluating the compression efficiency and metrics of quality losses were proposed. The results of an experimental study are presented, confirming the higher compression efficiency of the proposed algorithm in comparison with the JPEG compression standard.

Keywords: image compression, JPEG codec, discrete cosine transform, Weyl-Heisenberg transform, downsampling, quantization.

For citation: Volchkov V.P., Asiryanyan V.M. 2021. Weyl – Heisenberg transform capabilities in JPEG compression standard. Economics. Information technologies, 48 (1): 188–200 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-1-188-200.

Введение

Как известно, с появлением возможности отображения графической информации персональными компьютерами возникла сопутствующая проблема, связанная с эффективным хранением и передачей растровых изображений. Для решения этой проблемы в 1986 году был собран комитет экспертов со всего мира под названием Joint Photographic Experts Group (JPEG). Именно данная экспертная группа в последствии в 1992 году и разработала известный стандарт сжатия растровых изображений JPEG [T.81, 1992]. На сегодняшний день JPEG – самый распространённый формат кодирования, отправки и хранения растровых изображений, без которого невозможно представить современные информационные системы, фотокамеры, персональные компьютеры и мобильные устройства. Согласно заявленным данным, начиная с 2015 года, ежедневно создается несколько миллиардов изображений формата JPEG.

В исходной спецификации формат сжатия JPEG реализован на базе более ранних исследований, работ и патентов. Отправной точкой для разработки алгоритма сжатия JPEG послужило дискретное косинусное преобразование (DCT), которое впервые было предложено Насиром Ахмедом в качестве метода сжатия изображений в 1972 году. Позднее Н. Ахмед совместно с другими исследователями разработал практический алгоритм дискретного косинусного преобразования [Ahmed N., Natarajan T., and Rao K.R., 1974], привлёкший внимание других ученых [Chen W., Pratt W.K., 1984; Chen W., Smith C., and Fralick S., 1977; Ахмед Н., Рао К.Р., 1980], общий вклад которых стал основополагающим для стандарта сжатия JPEG.

На сегодняшний день значительный технологический прогресс, достигнутый в разработке новых алгоритмов передачи и обработки информации, делает особенно актуальными исследования все более сложных методов получения частотных и частотно-временных характеристик сигналов. Синтез универсального базиса, который позволяет функционально разделять сигнал в частотно-временной области на определенные фрагменты, а затем внутри них анализировать спектральные особенности сигнала, представляет сложную задачу. Однако, как отмечалось в предыдущих работах [Asiryanyan V.M., Volchkov V.P., Papulovskaya N.V., 2020; Асирян В.М., Волчков В.П., 2018; Асирян В.М., Волчков В.П., 2017] именно с помощью таких базисов можно учесть нестационарные особенности сигнала и получить большую эффективность сжатия.

Одним из возможных решений данной задачи является оконное преобразование Фурье (Short-time Fourier transform), которое позволяет получать характеристику распределения частоты сигнала во времени. Но главная проблема при использовании оконного преобразования Фурье связана с принципом неопределенности Гейзенберга, который действует в отношении параметров времени и частоты сигнала. В основе этого принципа лежит тот факт, что невозможно точно сказать в какой момент времени определенная частота присутствует в сигнале, можно говорить лишь об интервале времени или диапазоне частот. Кроме того, оконное преобразование Фурье обладает избыточностью поскольку является комплексным преобразованием и, как следствие, не подходит как инструмент сжатия изображений.

В свою очередь, применение вейвлет-преобразований (Wavelet transform), разработанных как инструмент, который решает проблему неопределенности Гейзенберга для получения частотно-временных характеристик сигнала и получивших распространение в задачах сжатия изображений – JPEG 2000 [Добеши И., 2001], не всегда является оптимальным средством. Кроме того, распространенным недостатком вейвлетов является несимметричность формирующих функций.

Именно по этим причинам одним из наиболее перспективных методов получения частотно-временных характеристик сигнала является использование обобщенных базисов Вейля-Гейзенберга, полученных путем равномерных сдвигов по времени и частоте одной или нескольких функций [Волчков В.П., 2009; Gabor D., 1946]. В ранних работах было показано, что базис Вейля-Гейзенберга, построенный на основе функции Гаусса, представляет особый интерес для исследований. Сегодня современные подходы и алгоритмы, направленные на синтез оптимального большого базиса Вейля-Гейзенберга, позволяют применять его к большим сигналам, в частности изображениям [Volchkov V.P., Sannikov V.G., 2018; Bolcskei H. et al., 1999].

Как отмечалось ранее, данная статья посвящена внедрению технологии сжатия на основе базисов Вейля-Гейзенберга (WH-технологии) для модификации стандарта сжатия JPEG. Хочется отметить, что стандарт JPEG хоть и не является относительно новым, однако он и по сей день обладает эффективными характеристиками сжатия. Кроме того, идеи стандарта JPEG легли в основу для более поздних алгоритмов сжатия, таких как JPEG2000, HEIF и другие. Для лучшего понимания предлагаемого решения по модификации стандарта JPEG ниже более подробно описываются основные этапы алгоритма сжатия JPEG, включающие в себя преобразование цвета, субдискретизацию, блочное дискретное косинусное преобразование, квантование и энтропийное кодирование. Также изучаются особенности стандарта JPEG, и предлагается новый подход к сжатию растровых изображений, основанный на применении дискретного ортогонального преобразования Вейля-Гейзенберга [Asiryanyan V.M., Volchkov V.P., Papulovskaya N.V., 2020]. Для этого в рамках данного исследования строится двухстороннее вещественное преобразование Вейля-Гейзенберга, формулируются рекомендации для выбора параметров WH-базиса, вводятся соответствующие критерии оценки эффективности сжатия, метрики качественных потерь и проводится объективное сравнение предложенного подхода к сжатию изображений со стандартом JPEG.

JPEG кодек

Как отмечалось ранее, стандарт сжатия JPEG основан на дискретном косинусном преобразовании (DCT). Данное преобразование является ортогональным, а значит легко обратимым. По определению любое дискретное ортогональное преобразование линейно и имеет матричное представление. В предыдущих работах [Asiryanyan V.M., Volchkov V.P., Papulovskaya N.V., 2020] были определены одномерные и двумерные дискретные ортогональные преобразования и было показано, что матрица

преобразования должна обладать свойством унитарности, которое описывается выражением

$$\mathbf{U}^* \mathbf{U} = \mathbf{U} \mathbf{U}^* = \mathbf{I}, \quad (1)$$

где \mathbf{I} – единичная матрица, \mathbf{U} – квадратная матрица преобразования, у которой по столбцам стоят дискретные ортонормированные базисные функции (векторы). Таким образом, любое дискретное ортогональное преобразование задается матрицей базисных векторов.

Согласно определению матрица дискретного косинусного преобразования размерности $(N \times N)$ определяется согласно следующему выражению

$$\mathbf{U}_{DCT}(i, j) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}}, & \text{if } i = 0, \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \cos\left(\frac{\pi(2j+1)i}{2N}\right), & \text{else.} \end{cases} \quad (2)$$

$$i = 0, \dots, N-1, j = 0, \dots, N-1.$$

и удовлетворяет свойству (1).

Фактически DCT позволяет представить любую конечную последовательность данных (отсчетов) в виде линейной комбинации дискретных базисных функций косинуса (2) с разными частотами. Следует отметить, что дискретное косинусное преобразование тесно связано с дискретным преобразованием Фурье (DFT) и эта связь является гомоморфизмом. Поэтому на практике, как правило, DCT вычисляется с использованием быстрых реализаций дискретного преобразования Фурье [Makhoul J., 1980]. Тем не менее, в рамках данного исследования этот нюанс является не принципиальным, поэтому DCT для наглядности далее будет представляться в матричном виде (2).

Следует отметить, что предварительно перед применением блочного DCT, исходное растровое изображение в терминах каналов красного, зеленого и синего цветов (**RGB**) переводится в цветовое пространство $\mathbf{Y} \mathbf{C}_B \mathbf{C}_R$ [Т.81, 1992]. В данной цветовой модели компонента \mathbf{Y} представляет яркость пикселя, а компоненты \mathbf{C}_B и \mathbf{C}_R представляют цветность, разделенную на синий и красный цвета соответственно. Преобразование из **RGB** в цветовое пространство $\mathbf{Y} \mathbf{C}_B \mathbf{C}_R$ обеспечивает большую степень сжатия без значительного влияния на воспринимаемое качество изображения. Объясняется это тем, что информация о яркости более важна для конечного качества восприятия изображения, в то время как цветностью можно частично пренебречь. Для этого применяется цветовая субдискретизация – уменьшение частоты дискретизации путем прореживания отсчетов цветовых компонент \mathbf{C}_B и \mathbf{C}_R . В стандарте сжатия JPEG цветовая субдискретизация применяется в соотношении 4:2:0, то есть прореживание происходит через одну строку и один столбец [Т.81, 1992]. Данная процедура приводит к уменьшению размерности цветовых компонент \mathbf{C}_B и \mathbf{C}_R в 2 раза как по горизонтали, так и по вертикали. Уже на данном этапе исходное изображение удается сжать в 1.5 раза.

В рамках данной статьи для упрощения моделирования и интерпретации результатов, все эксперименты проводятся с монохромными растровыми изображениями, состоящими из одного канала – яркостной компоненты \mathbf{Y} . Поэтому преобразование цвета и субдискретизация не используются. Однако, аналогичные результаты можно получить и для цветных изображений в терминах $\mathbf{Y} \mathbf{C}_B \mathbf{C}_R$.

Согласно стандарту JPEG [Т.81, 1992], дискретное косинусное преобразование применяется не ко всему изображению целиком, а отдельно к каждому блоку изображения размерности 8×8 . Иными словами исходное изображение делится на определенное количество блоков, каждый из которых подвергается независимой

обработке. Выбор такой размерности блоков обусловлен несколькими причинами. Во-первых, увеличение размерности блоков не приводит к сильному увеличению показателей сжатия, в то время как вычислительная сложность алгоритма возрастает. Во-вторых, возникает высокая вероятность наличия большого количества резких границ внутри одного блока, что может повлечь за собой эффект Гиббса.

Прямое и обратное блочные дискретные ортогональные преобразования записываются как

$$\mathbf{Z}^{(k)} = \mathbf{U}^* \mathbf{Y}^{(k)} \mathbf{U}, \tag{3}$$

$$\tilde{\mathbf{Y}}^{(k)} = \mathbf{U} \mathbf{Z}^{(k)} \mathbf{U}^*, \tag{4}$$

где k – индекс определенного блока и, если не применялась процедура сжатия, $\tilde{\mathbf{Y}}^{(k)} = \mathbf{Y}^{(k)}$.

На рис. 1 представлены исходное растровое монохромное квадратное изображение «barbara.png» (512×512 пикселей) и результат применения описанной выше процедуры блочного дискретного косинусного преобразования (8×8 пикселей).

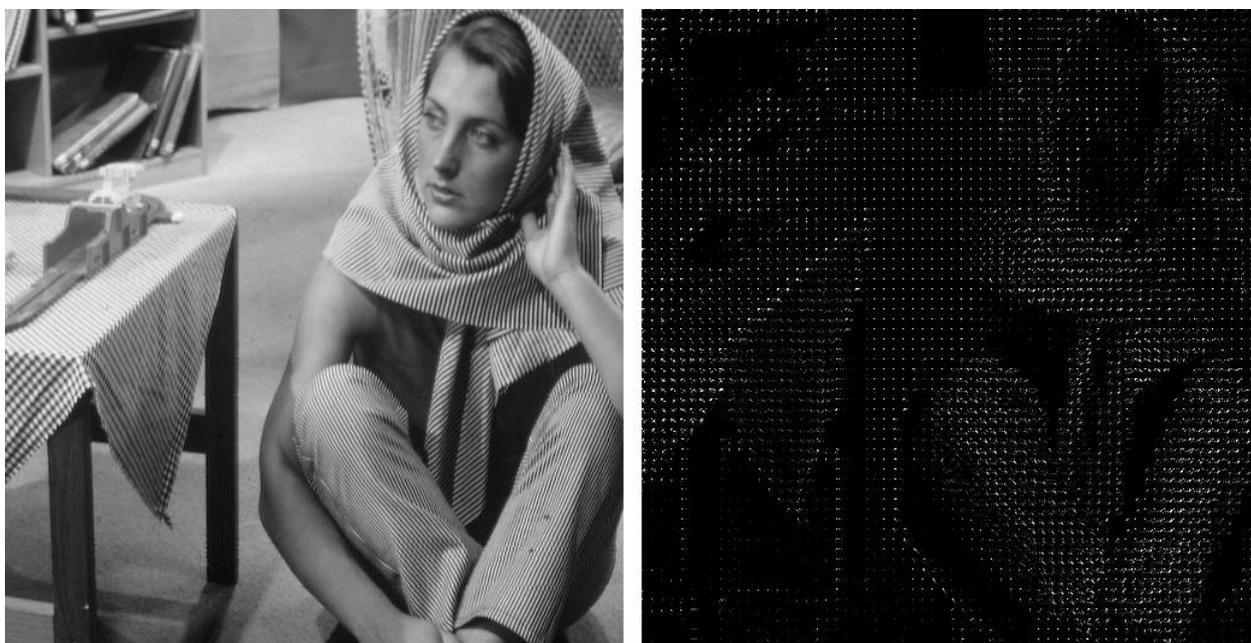


Рис. 1. Исходное изображение (слева), блочное DCT (справа)

Fig. 1. Original image (left), block DCT (right)

После применения блочного DCT (рис. 1) к каждому полученному блоку применяется операция квантования, которая описывается выражением

$$\tilde{\mathbf{Z}}_{i,j}^{(k)} = \text{round} \left(\frac{\mathbf{Z}_{i,j}^{(k)}}{R \cdot \mathbf{Q}_{i,j}} \right), \tag{5}$$

$$i = 0, \dots, M - 1, j = 0, \dots, M - 1.$$

где $\mathbf{Z}^{(k)}$ – k -ый блок матрицы элементов спектра изображения размерности (8×8), \mathbf{Q} – матрица коэффициентов квантования, M – размерность блока (в данном случае $M = 8$), а $R \in \mathbf{N}^+$ – натуральный коэффициент квантования по умолчанию равный 1.

Коэффициент квантования R управляет степенью сжатия – чем больше его значение, тем больше сжатие. В свою очередь матрица квантования \mathbf{Q} (как указано в исходном стандарте JPEG) задается следующим образом

$$Q = \begin{bmatrix} 16 & 11 & 10 & 16 & 24 & 40 & 51 & 61 \\ 12 & 12 & 14 & 19 & 26 & 58 & 60 & 55 \\ 14 & 13 & 16 & 24 & 40 & 57 & 69 & 56 \\ 14 & 17 & 22 & 29 & 51 & 87 & 80 & 62 \\ 18 & 22 & 37 & 56 & 68 & 109 & 103 & 77 \\ 24 & 35 & 55 & 64 & 81 & 104 & 113 & 92 \\ 49 & 64 & 78 & 87 & 103 & 121 & 120 & 101 \\ 72 & 92 & 95 & 98 & 112 & 100 & 103 & 99 \end{bmatrix}.$$

Операция округления (5) является единственной операцией с потерями во всем процессе сжатия (кроме цветовой субдискретизации). В результате выполнения процедуры квантования большая часть высокочастотных компонентов спектра округляется до нуля, а оставшееся часть состоит из небольших положительных или отрицательных чисел, для представления которых требуется намного меньше битов. Для эффективного кодирования оставшихся ненулевых элементов применяется так называемое zig-zag преобразование, которое позволяет перестроить каждый отдельный блок размерности (8×8) в соответствующий вектор размерности (n = 64) таким образом, что нулевые элементы оказываются в конце последовательности значений вектора. После чего большая часть нулевых элементов каждого полученного вектора отбрасывается и применяется энтропийное кодирование (например, кодирование Хаффмана) для преобразования полученной последовательности в биты [Chen W., Pratt W.K., 1984].

В свою очередь, при восстановлении изображения все описанные выше преобразования выполняются в обратном порядке. Кроме того, вместо процедуры квантования (5) применяется обратная процедура, которая описывается следующим выражением

$$Z_{i,j}^{(k)} = \tilde{Z}_{i,j}^{(k)} (Q_{i,j} \cdot R), \tag{6}$$

$$i = 0, \dots, M - 1, j = 0, \dots, M - 1,$$

а взамен прямому блочному дискретному косинусному преобразованию применяется соответствующее обратное преобразование.

Преобразование Вейля-Гейзенберга

Согласно ранним работам [Asiryany V.M., Volchkov V.P., Papulovskaya N.V., 2020], унитарная комплексная матрица ортогонального базиса Вейля-Гейзенберга размерности (N×N) определяется выражением

$$U = \text{Re}\{U_R\} + j \text{Re}\{U_I\}, \tag{7}$$

элементы которой вычисляются согласно выражениям

$$U_R(n, lM + k) = g[(n - lM)_N] e^{2\pi j \frac{k}{M} (n - \alpha/2)},$$

$$U_I(n, lM + k) = jg[(n + \frac{M}{2} - lM)_N] e^{2\pi j \frac{k}{M} (n - \alpha/2)},$$

$$n = 0, \dots, N - 1, k = 0, \dots, M - 1, l = 0, \dots, L - 1, N = LM,$$

где M – количество сдвигов по частоте, L – количество сдвигов по времени, α – фазовый параметр, $g(\cdot)$ – оптимизированная формирующая WN-функция размерности M . При этом матрица \mathbf{U} является унитарной, т.е. удовлетворяет (1).

Следует отметить, что в задачах сжатия изображений мы имеем дело с вещественным двумерным сигналом, а это значит, что применение комплексной матрицы Вейля-Гейзенберга не является целесообразным, поэтому мы используем вещественную версию матрицы (7), которая определяется выражением

$$\tilde{\mathbf{U}} = \text{Re}\{\mathbf{U}\} + \text{Im}\{\mathbf{U}\}. \tag{8}$$

Формула (8) может записана в эквивалентном виде

$$\tilde{\mathbf{U}} = \text{Re}\{\mathbf{U}_R\} + \text{Re}\{\mathbf{U}_I\}. \tag{9}$$

Ранее было показано, что преобразование матрица (9) ортогональна и удовлетворяет свойству (1) [Asiryany V.M., Volchkov V.P., Papulovskaya N.V., 2020].

Для того, чтобы сравнить разработанное дискретное ортогональное преобразование Вейля-Гейзенберга с блочным дискретным косинусным преобразованием в задаче сжатия изображения, мы берем значение числа частотных сдвигов $M = 8$ (что фактически соответствует разделению блоков 8×8), то значение фазового параметра $\alpha = M / 2 = 4$. Запишем также формулу для расчета оптимального значения

$$\sigma = \frac{1}{M^2 \beta},$$

где β – параметр, обеспечивающий оптимальную локализацию функции Гаусса.

На рис. 2 представлены исходное растровое монохромное квадратное изображение «barbara.png» (512×512 пикселей) и соответствующие ему спектры блочного DCT и DWHT (при $\beta = 2$). Для удобства сравнения изображения спектры обрезаны до 16×16 пикселей.

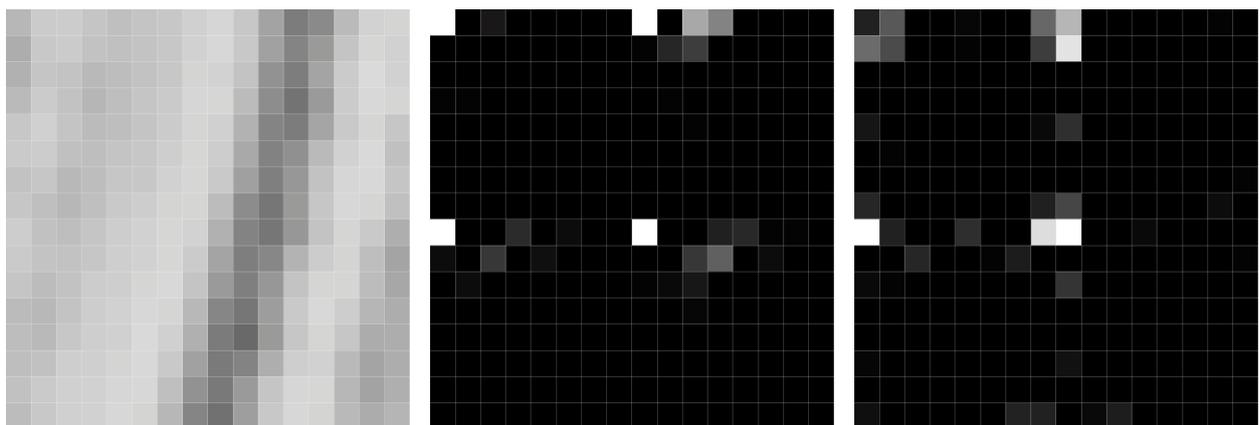


Рис. 2. Исходное изображение (слева), блочное DCT (по середине), DWHT (справа)

Fig. 1. Original image (left), block DCT (center), DWHT (right)

Аналогично алгоритму сжатия JPEG можно определить матрицу квантования \mathbf{Q} для дискретного преобразования Вейля-Гейзенберга

$$Q = \begin{bmatrix} 8 & 16 & 24 & 32 & 32 & 24 & 16 & 8 \\ 16 & 32 & 48 & 64 & 64 & 48 & 32 & 16 \\ 24 & 48 & 72 & 96 & 96 & 72 & 48 & 24 \\ 32 & 64 & 96 & 128 & 128 & 96 & 64 & 32 \\ 32 & 64 & 96 & 128 & 128 & 96 & 64 & 32 \\ 24 & 48 & 72 & 96 & 96 & 72 & 48 & 24 \\ 16 & 32 & 48 & 64 & 64 & 48 & 32 & 16 \\ 8 & 16 & 24 & 32 & 32 & 24 & 16 & 8 \end{bmatrix}.$$

При этом значения элементов матрицы квантования Q для дискретного преобразования Вейля-Гейзенберга были подобраны исходя из особенностей получаемого спектра.

Результаты экспериментов

Для того, чтобы качественно оценить степень отличия между исходным изображением и его сжатой версией вычислим норму Фробениуса разности между матрицами исходного изображения и восстановленного после сжатия

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\mathbf{Y}_{ij} - \tilde{\mathbf{Y}}_{ij})^2} = \|\mathbf{Y} - \tilde{\mathbf{Y}}\|_F. \quad (10)$$

где m , n – ширина и высота изображения соответственно. В дальнейшем формула (10) будет служить критерием качественных потерь, то есть главным не визуальным показателем отличия восстановленного изображения от исходного.

Зачастую для измерения уровня искажений при сжатии изображений используется такой показатель, как пиковое отношение сигнала к шуму ($PSNR$). Поскольку большинство сигналов имеют широкий динамический диапазон, $PSNR$ обычно измеряется по логарифмической шкале в децибелах и определяется согласно выражению

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |\mathbf{Y}_{ij} - \tilde{\mathbf{Y}}_{ij}|^2, \\ PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_{\mathbf{Y}}^2}{MSE} \right), \quad (11)$$

где m , n – ширина и высота изображения.

Для оценки степени сжатия введем показатель K – коэффициент сжатия, означающий отношение количества нулевых элементов спектра изображения к общему числу элементов изображения (в процентах)

$$K = \frac{N_Z}{N_T} \cdot 100\%. \quad (12)$$

где N_Z – количество обнуленных элементов спектра изображения в том или ином базисе, а N_T – общее количество анализируемых элементов спектра (в общем случае для матрицы изображения $N_T = mn$).

Для объективного сравнения DCT (согласно JPEG спецификации) и DWHT (при $\beta = 2$) в задаче сжатия изображений было выполнено моделирование для различных значений коэффициента квантования $R = 1, 4, 8$ и были посчитаны значения показателей, описанных формулами (10–12).

На рисунках 3-4 в качестве примера демонстрируются результаты сжатия одного и того же изображения «barbara.png» (512×512 пикселей) при $R = 1, 4, 8$ с использованием DCT (JPEG) и DWHT, а в таблицах 1-2 приведены полученные соответствующие численные результаты.

Таблица 1
Table 1

Сжатие с использованием DCT (JPEG)
Compression using DCT (JPEG)

| Коэффициент квантования | 1 | 4 | 8 |
|-----------------------------|--------|--------|---------|
| Коэффициент сжатия, K (%) | 83.73 | 93.82 | 96.63 |
| PSNR (дБ) | 32.53 | 26.26 | 23.92 |
| Потери качества, E | 438.58 | 980.48 | 1339.16 |

Таблица 2
Table 2

Сжатие с использованием DWHT (при $\beta = 2$)
Compression using DWHT (for $\beta = 2$)

| Коэффициент квантования | 1 | 4 | 8 |
|-----------------------------|--------|--------|---------|
| Коэффициент сжатия, K (%) | 85.68 | 94.68 | 96.87 |
| PSNR (дБ) | 33.87 | 27.65 | 25.29 |
| Потери качества, E | 336.66 | 776.45 | 1106.21 |



Рис. 3. Результаты сжатия с использованием DCT для $R = 1, 4, 8$
Fig. 3. Compression using DCT for $R = 1, 4, 8$

Рис. 4. Результаты сжатия с использованием DWHT для $R = 1, 4, 8$ Fig. 4. Compression using DWHT for $R = 1, 4, 8$

Сравнительный анализ визуальных и численных характеристик показывает, что наименьшие потери качества при сжатии изображения получаются именно в случае преобразования Вейля-Гейзенберга (DWHT). Согласно результатам моделирования DWHT в среднем обеспечивает сохранение до 20-25% качества изображений по сравнению с DCT (JPEG) при большем коэффициенте сжатия K .

Заключение

По итогам моделирования можно сделать вывод о том, что представленный новый подход к сжатию растровых изображений, базирующийся на основе вещественного дискретного ортогонального преобразования Вейля-Гейзенберга, обеспечивает высокую степень сжатия и большее сохранение качества изображения при восстановлении по сравнению с известным стандартом сжатия JPEG. Следовательно, использование дискретного ортогонального преобразования Вейля-Гейзенберга оказывается весьма эффективным инструментом в задаче сжатия и хранения растровых изображений. Данный феномен объясняется тем, что изображение представляет собой нестационарный двухмерный случайный процесс, особенности которого полноценным образом можно охватить лишь в частотно-временной области, разбив его на фрагменты. Что является критически важным для последующего отсеивания несущественных спектральных компонент и, как следствие, эффективного сжатия изображения.

Список литературы

1. Асирян В.М., Волчков В.П., 2017. Применение ортогонального преобразования Вейля-Гейзенберга для сжатия изображений. Телекоммуникации и информационные технологии, 4 (1): 50–56.
2. Асирян В.М., Волчков В.П., 2018. Вычислительно эффективная реализация прямого и обратного преобразований Вейля-Гейзенберга. Телекоммуникации и информационные технологии, 5 (1): 5–10.
3. Ахмед Н., Рао К.Р., 1980. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. Пер. с англ. Под ред. Фоменко И.Б. М., Связь, 248 с. (Ahmed N, Rao K.R., 1975. Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 264 p.).
4. Волчков В.П., 2009. Новые технологии передачи и обработки информации на основе хорошо локализованных сигнальных базисов. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика, 15(70): 181–189.

5. Волчков В.П., Асирян В.М., 2017. Вычислительно эффективный алгоритм формирования оптимального базиса Вейля-Гейзенберга. *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. М., МИРЭА. Часть 4: 1151–1154.*
6. Волчков В.П., Петров Д.А., 2009. Оптимизация ортогонального базиса Вейля-Гейзенберга для цифровых систем связи, использующих принцип OFDM/OQAM передачи. *Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика, 1(56): 102–112.*
7. Волчков В.П., Петров Д.А., 2009. Условия ортогональности обобщенных базисов Вейля-Гейзенберга для OFTDM сигналов. *Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика, 15(70): 190–199.*
8. Волчков В.П., Петров Д.А., 2010. Обобщенная теорема Найквиста для OFTDM сигналов. *Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов, 1(1): 28–32.*
9. Добеши И., 2001. Десять лекций по вейвлетам. Ижевск, РХД, 464 с. (Daubechies I., 1992. *Ten Lectures on Wavelets. Philadelphia, Pa.: Society for Industrial and Applied Mathematics, 378 p).*
10. Ahmed N., Natarajan T., and Rao K.R., 1974. Discrete Cosine Transform. *IEEE Transactions on Computers. C-23 (1): 90–93.*
11. Asiryany V.M., Volchkov V.P., Papulovskaya N.V., 2020. Image Compression Using Discrete Weyl-Heisenberg Transform. *Proceedings - 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2020, 399–402.*
12. Bolcskei H. et al., 1999. Efficient design of OFDM/OQAM pulse shaping filter. *Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 99). Vol. 1: 559–564.*
13. Chen W., Pratt W.K., 1984. Scene Adaptive Coder. *IEEE Transactions on Communications, 32 (3): 225–232.*
14. Chen W., Smith C., and Fralick S., 1977. A Fast Computational Algorithm for the Discrete Cosine Transform. *IEEE Transactions on Communications, 25 (9): 1004–1009.*
15. Digital compression and coding of continuous-tone still images – requirements and guidelines. 1992. V. 81, CCITT, 186 p.
16. Gabor D., 1946. Theory of communication. *J. Inst. Elect. Eng. (London), 93 (111): 429–457.*
17. Makhoul J., 1980. A fast cosine transform in one and two dimensions. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Mathematics. Vol. ASSP-28, No. 1: 27–34.*
18. Volchkov V. et al., 2019. Synthesis of Real Weyl-Heisenberg Signal Frames with Desired Frequency-Time Localization., 2019 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Moscow, Russia: 502–508.
19. Volchkov V.P., 2007. Signal bases with good time-frequency localization. *Electrosvyaz, 2: 21–25.*
20. Volchkov V.P., Petrov D.A., 2009. Orthogonal Well-Localized Weyl-Heisenberg Basis Construction and Optimization for Multicarrier Digital Communication Systems. *Proc. of ICUMT, St. Petersburg: Oct.*
21. Volchkov V.P., Sannikov V.G., 2018. Algebraic approach to the optimal synthesis of real signal Weyl-Heisenberg bases. 2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO 2018). Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc. (Oct 2018): 135–142.
22. Wexler J., Raz S., 1990. Discrete Gabor expansions. *Signal Processing, 21 (3): 207–220.*

References

1. Asiryany V.M., Volchkov V.P., 2017. Primenenie ortogonal'nogo preobrazovaniya Veilya-Geizenberga dlya szhatiya izobrazhenii. [Application of the Weyl-Heisenberg orthogonal transform for image compression]. *Telekommunikacii i informacionnye tehnologii, 4 (1): 50–56.*
2. Asiryany V.M., Volchkov V.P., 2018. Vychislitel'no effektivnaya realizatsiya pryamogo i obratnogo preobrazovaniya Veilya-Geizenberga. [A computationally efficient implementation of the direct and inverse Weyl-Heisenberg transforms]. *Telekommunikacii i informacionnye tehnologii, 5 (1): 5–10.*

3. Akhmed N., Rao K.R., 1980. *Ortogonal'nye preobrazovaniya pri obrabotke tsifrovyykh signalov* [Orthogonal transformations in digital signal processing]. Translated from English. Edited by Fomenko I.B. M., Svyaz', 248 p. (Ahmed N, Rao K.R., 1975. *Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 264 p.).
4. Volchkov V.P. 2009. A new technology of transmitting and processing of information based on well-localized signal basis. *Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies*, 15(70): 181–189 (in Russian).
5. Volchkov V.P., Asiryanyan V.M., 2017. Computationally efficient algorithm of forming an optimal basis for the Weyl-Heisenberg. *Fundamental problems of electronic instrument engineering*. Moscow, MIREA. Part 4: 1151–1154 (in Russian).
6. Volchkov V.P., Petrov D.A., 2009. Orthogonal Weyl-Heisenberg basis optimisation for digital communication systems based on OFDM/OQAM. *Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies*, 1(56): 102–112 (in Russian).
7. Volchkov V.P., Petrov D.A., 2009. Generalized Weyl-Heisenberg bases orthogonality conditions for OFTDM signals. *Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies*, 15(70): 190–199 (in Russian).
8. Volchkov V.P., Petrov D.A., 2010. Obobshchennaya teorema Naikvista dlya OFTDM signalov. [The generalized Nyquist's theorem for OFTDM of signals]. *Synchronization system, shaping and signal processing*. M., Publishing House Media Publisher. 1(1): 28–32.
9. Daubechies I., 2001. *Desyat' lekcij po vejvletam*. [Ten lectures on wavelets]. Izhevsk: RHD, 464 p. (Daubechies I., 1992. *Ten Lectures on Wavelets*. Philadelphia, Pa.: Society for Industrial and Applied Mathematics, 378 p.).
10. Ahmed N., Natarajan T., and Rao K.R., 1974. Discrete Cosine Transform. *IEEE Transactions on Computers*. C-23 (1): 90–93.
11. Asiryanyan V.M., Volchkov V.P., Papulovskaya N.V., 2020. Image Compression Using Discrete Weyl-Heisenberg Transform. *Proceedings - 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2020*, 399–402.
12. Bolcskei H. et al., 1999. Efficient design of OFDM/OQAM pulse shaping filter. *Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 99)*. Vol. 1: 559–564.
13. Chen W., Pratt W.K., 1984. Scene Adaptive Coder. *IEEE Transactions on Communications*, 32 (3): 225–232.
14. Chen W., Smith C., and Fralick S., 1977. A Fast Computational Algorithm for the Discrete Cosine Transform. *IEEE Transactions on Communications*, 25 (9): 1004–1009.
15. Digital compression and coding of continuous-tone still images – requirements and guidelines. 1992. V. 81, CCITT, 186 p.
16. Gabor D., 1946. Theory of communication. *J. Inst. Elect. Eng. (London)*, 93 (111): 429–457.
17. Makhoul J., 1980. A fast cosine transform in one and two dimensions. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. Mathematics. Vol. ASSP-28, No. 1: 27–34.
18. Volchkov V. et al., 2019. Synthesis of Real Weyl-Heisenberg Signal Frames with Desired Frequency-Time Localization., 2019 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Moscow, Russia: 502–508.
19. Volchkov V.P., 2007. Signal bases with good time-frequency localization. *Electrosvyaz*, 2: 21–25.
20. Volchkov V.P., Petrov D.A., 2009. Orthogonal Well-Localized Weyl-Heisenberg Basis Construction and Optimization for Multicarrier Digital Communication Systems. *Proc. of ICUMT*, St. Petersburg: Oct.
21. Volchkov V.P., Sannikov V.G., 2018. Algebraic approach to the optimal synthesis of real signal Weyl-Heisenberg bases. 2018 *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO 2018)*. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc. (Oct 2018): 135–142.
22. Wexler J., Raz S., 1990. Discrete Gabor expansions. *Signal Processing*, 21 (3): 207–220.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Волчков Валерий Павлович, доктор технических наук, профессор кафедры общей теории связи Московского технического университета связи и информатики

Асирян Валерий Мишевич, студент магистратуры института информационных технологий и компьютерных наук Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valery P. Volchkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of General Communication Theory, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

Valery M. Asiryan, Master's student at the Institute of Information Technology and Computer Science, National University of Science and Technology MISiS, Moscow, Russia