

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

SCIENTIFIC JOURNAL

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES



2022. Том 49, № 1



ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

2022. Том 49, № 1

До 2020 г. 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. Жиляков, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры 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. Лыщикова, 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 (Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил Минобороны России, Москва, Россия)

О.В. Ваганова, доктор экономических наук, профессор, 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)

О.А. Ивацук, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой информационных и робототехнических систем (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

А.В. Косыкин, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем и цифровых технологий (Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орел, Россия)

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, профессор кафедры бизнес-аналитики (Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия)

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

Т.Л. Тен, доктор технических наук, профессор, проректор по цифровым технологиям и инновациям (Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан)

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

ISSN 2687-0932

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. Котенко. Корректура, компьютерная верстка и оригинал-макет Ю.В. Ивахненко. Гарнитура Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Уч.-изд. л. 21,4. Дата выхода 30.03.2022. Оригинал-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

- 5 **Владыка М.В., Стрябкова Е.А., Лыщикова Ю.В., Горбунова Е.И.**
Факторы развития конкурентоспособности российских макрорегионов
- 17 **Манаева И.В.**
Оценка пространственного баланса России: региональный аспект
- 31 **Морозова И.А., Кузьмина Е.В., Шевченко С.А.**
Модернизация промышленного комплекса в контексте развития экономики региона (на примере Волгоградской области): современное состояние и перспективы развития
- 44 **Пацала С.В., Горошко Н.В.**
Пространственные пропорции экономики России

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

- 59 **Зенкина Е.В.**
Финансовые инновации развития социальной и солидарной экономики

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

- 67 **Бухвальд Е.М.**
Экономические аспекты новой Стратегии национальной безопасности Российской Федерации
- 79 **Гаджиев Н.Г., Карпунин А.Ю., Карпунина Е.В., Коноваленко С.А.**
Развитие маркетинга во внешнеэкономической деятельности
- 92 **Степанов А.С., Чемоданов А.А.**
Разработка подходов к оценке эффективности маркетинговых акций для участников программ лояльности в розничной торговле (на примере аптечной сети)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 103 **Нечаев Ю.Б., Пешков И.В.**
Исследование и моделирование цифровых антенных решеток с направленными элементами по азимуту и углу места при распространении ОВЧ-сигналов с потерями за счет дифракции
- 121 **Караулова А.В., Базилевский М.П.**
Программный комплекс построения квазилинейных регрессий по критериям точности и нелинейности
- 134 **Сафина Г.Ф.**
Аналитическая и компьютерная реализация моделей приближенного расчета вероятностных параметров краткосрочного страхования жизни

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

- 145 **Михелёв В.В.**
Системно-объектный подход к системному анализу: особенности и преимущества
- 153 **Грачева Е.А., Поначугин А.В.**
Оценка эффективности работы ИТ-отдела
- 159 **Асадуллаев Р.Г., Кузьменко Н.И.**
Технология интеллектуального распознавания сельскохозяйственных культур нейронной сетью по мультиспектральным многовременным данным дистанционного зондирования Земли
- 169 **Азаров В.Г., Чуприна М.В.**
Возможности биометрической видеоаналитики и правила ее применения

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 178 **Охрименко А.Г.**
Методика обеспечения эффективности сети передачи данных горнодобывающего предприятия
- 187 **Маслаков Ю.Н., Урсол Д.В.**
Реализация алгоритма стабилизации изображения на программируемой логической интегральной схеме
- 195 **Лубков И.И., Жиликов Е.Г., Трубицына Д.И., Заливин А.Н.**
Разработка метода субполосного сжатия изображений

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES**2022. Volume 49, No. 1**

Until 2020, the journal was published with the name "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, Professor 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. Stryakova, 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 (Central Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia)

O.V. Vaganova, doctor of Economic Sciences, 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)

O.A. Ivashchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information and Robotic Systems (BSU, Belgorod, Russia)

A.V. Koskin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems and Digital Technologies (Oryol State University named after I.S. Turgenyev, Orel, Russia)

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, Professor of the Department of Business Analytics (Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia)

T.V. Nikitina, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of Department of banks and financial markets and insurance, Director of the International Center for Financial Market Research (Saint-Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg, 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)

T.L. Ten, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Digital Technologies and Innovations (Karaganda Economic University of Kazpotreboyz, Karaganda, Kazakhstan)

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)

ISSN 2687-0932

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. Kotenko. Pag Proofreading, computer imposition, page layout by Y.V. Ivakhnenko. Typeface Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Publisher's signature 21.4. Date of publishing 30.03.2022. The layout was prepared 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 Vladyka M.V., Stryabkova E.A., Lyschikova Yu.V., Gorbunova E.I.
Factors of development of competitiveness of Russian macro-regions
- 17 Manaeva I.V.
Assessment of the spatial balance of Russia: regional aspect
- 31 Morozova I.A., Kuzmina E.V., Shevchenko S.A.
Modernization of the industrial complex in the context of regional economic development (on the example of the Volgograd region):
current state and development prospects
- 44 Patsala S.V., Goroshko N.V.
Spatial proportions of the Russian economy

INVESTMENT AND INNOVATIONS

- 59 Zenkina E.V.
Financial innovations of social and solidarity economy development

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

- 67 Buchwald E.M.
Economic aspects of the new National Security Strategy of the Russian Federation
- 79 Gadzhiev N.G., Karpunin A.Yu., Karpunina E.V., Konovalenko S.A.
Development of marketing in foreign economic activity
- 92 Stepanov A.S., Chemodanov A.A.
Development of approaches to evaluating the marketing campaigns effectiveness for loyalty programs participants in retail
(using the example of a pharmacy chain)

COMPUTER SIMULATION HISTORY

- 103 Nechaev Yu.B., Peshkov I.W.
Researching and simulation of digital antenna arrays with directive elements on azimuth – elevation while the VHF-signals
propagation with diffraction losses
- 121 Karaulova A.V., Bazilevskiy M.P.
Software complex for constructing quasi-linear regressions according to the criteria of accuracy and non-linearity
- 134 Safina G.F.
Analytical and computer implementation models of approximate calculation of probabilistic parameters of short-term life insurance

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

- 145 Mikhelev V.V.
System-object approach to system analysis: features and benefits
- 153 Gracheva E.A., Ponachugin A.V.
Evaluation of the effectiveness of the IT department
- 159 Asadullaev R.G., Kuzmenko N.I.
Technology of intelligent agricultural crops recognition by neural network based on multispectral multitemporal Earth remote sensing
data
- 169 Azarov V.G., Chuprina M.V.
The possibilities of biometric video analytics and the rules of its application

INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

- 178 Okhrimenko A.G.
Methodology for providing the efficiency of the data network of a mining enterprise
- 187 Maslakov Yu.N., Ursol D.V.
Implementation of image stabilization algorithm on a programmable logic integral circuit
- 195 Lubkov I.I., Zhilyakov E.G., Trubitsyna D.I., Zalivin A.N.
Development of a method subband compression pictures

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

УДК 332.122

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-5-16

Факторы развития конкурентоспособности российских макрорегионов

Владыка М.В., Стрябкова Е.А., Лыщикова Ю.В., Горбунова Е.И.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: vladyka@bsu.edu.ru, stryabkova@bsu.edu.ru, lyshchikova@bsu.edu.ru, gorbunovae@bsu.edu.ru

Аннотация. В данной статье представлен ретроспективный анализ территориальной конкуренции и конкурентоспособности в научно-экономической литературе и в нормативно-законодательной базе Российской Федерации. Кроме того, рассмотрена конкурентная среда макрорегиона, в которой представлены непосредственно объекты конкуренции на определённой территории, среди которых инвестиции, трудовые ресурсы, скорость в инновациях, растущее продуктивное разнообразие, преференции (налоговые и таможенные льготы), государственная поддержка по созданию инфраструктуры. В рамках исследования конкурентоспособности проведен анализ научных работ, после чего предложены авторские определения конкурентоспособности региона и макрорегиона. После проведенного анализа представлены авторские определения конкуренции региона, конкуренции макрорегиона, конкурентоспособности региона и конкурентоспособности макрорегиона. В рамках результатов и их обсуждения проведен статистический анализ факторов формирования конкурентоспособности макрорегиона на основе корреляционного анализа.

Ключевые слова: экономика региона, макрорегион, конкуренция, конкурентоспособность

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания FZWG-2020-0016 (0624-2020-0016), тема проекта «Фундаментальные основы глобальной территориально-отраслевой специализации в условиях цифровизации и конвергенции технологий».

Для цитирования: Владыка М.В., Стрябкова Е.А., Лыщикова Ю.В., Горбунова Е.И. 2022. Факторы развития конкурентоспособности российских макрорегионов. Экономика. Информатика. 49(1): 5–16. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-5-16

Factors of development of competitiveness of Russian macro-regions

Marina V. Vladyka, Elena A. Stryabkova, Julia V. Lyschikova, Elena I. Gorbunova

Belgorod National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: vladyka@bsu.edu.ru, stryabkova@bsu.edu.ru, lyshchikova@bsu.edu.ru, gorbunova_e@bsu.edu.ru

Abstract. This article presents a retrospective analysis of territorial competition and competitiveness in the scientific and economic literature and in the regulatory framework of the Russian Federation. In addition, the competitive environment of the macroregion is considered, in which the objects of competition in a certain territory are directly represented, including investments, labor resources, speed in innovation, growing product diversity, preferences (tax and customs privileges), state support for the creation of infrastructure. As part of the competitiveness study, an analysis of scientific papers was carried out, after which the author's definitions of the competitiveness of the region and the macroregion were proposed. After the analysis, the author's definitions of regional competition, macroregion competition, regional competitiveness and



macroregion competitiveness are presented. Within the framework of the results and their discussion, a statistical analysis of the factors of the formation of the competitiveness of macroregions was carried out.

Keywords: economy, region, macroregion, competition, competitiveness

Acknowledgements: the research was carried out within the framework of the state assignment FZWG-2020-0016 (0624-2020-0016), the topic of the project "Fundamental foundations of global territorial and industry specialization in the context of digitalization and technology convergence".

For citation: Vladyka M.V., Stryabkova E.A., Lyschikova Yu.V., Gorbunova E.I. 2022. Factors of development of competitiveness of Russian macro-regions. Economics. Information technologies. 49(1): 5–16 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-5-16

Введение

Экономические процессы в любом государстве всегда сопряжены с конкуренцией различных уровней развития и реализации. Это своеобразная движущая сила, которая подталкивает коммерческие и государственные структуры к принятию максимально эффективных решений в сфере экономической деятельности. Другими словами, современная конкуренция – это драйвер наиболее рационального перераспределения ресурсов. Характеристика конкурентной борьбы выявляет достаточно сложную социально-экономическую структуру, которая выявляет её отличительные черты, цели и признаки, а также оригинальную методологию для регуляции деятельности той или иной структуры.

Актуальным является научно-экономический фокус в направлении наиболее точного определения конкурентоспособности, как таковой. Аналитический экскурс в историю таких процессов свидетельствует, что имеется более ста различных определений этой дефиниции. В данной работе проводится ретроспективный анализ нескольких направлений экспликации таких определений в разрезе наибольшей значимости для экономической теории, что задает векторные площадки научных исследований конкурентоспособности территорий.

В работах Юданова А.Ю. представлено определение конкуренции с точки зрения преграды для развития в экономике различных неблагоприятных событий. Рыночная конкуренция представляется форматом борьбы, направленным в отношении уровня спроса платежеспособного сектора потребителей, где весь процесс проводится коммерческими компаниями в рамках освоенного ими сегмента рынка. Он подчеркивает, что конкретика данного определения заключается в выделенном аспекте направленности конкурентной борьбы, где последняя направлена не против всех, а только в направлении определенного рыночного сектора услуг и товаров (точнее их продвижения) [Юданов, 2019].

По мнению Коробова Ю.П., предлагается формулировать определение конкуренции с точки зрения соперничества между рыночными игроками, которые ставят перед собой идентичные цели. Это могут быть не только продавцы, но также и покупатели. С точки зрения продавца конкуренция будет представляться борьбой за максимизацию продажи товаров или услуг. С точки зрения покупателей борьба будет возникать за доступ к предложенным товарам или услугам. Два данных процесса могут быть выражены количественно, а для каждого конкретного рынка можно произвести квалитетрические соотношения рыночной силы продавцов и покупателей [Коробов, 2019].

Катов В.В. конкретизирует существующие условия, имеющие прямое влияние на формирование конкурентной среды в экономике, характеризующейся высокой эффективностью. В частности, он указывает на факторы состояния общества, наличие или отсутствие единых национальных идей, уровней общественно-социальных отношений, а также от прямого желания общества воспринимать конкуренцию, как неотъемлемый процесс, интегрированный во все сферы жизни без исключения [Катов, 2019].

Наиболее точное определение конкуренции указано в Федеральном законе №135-ФЗ «О защите конкуренции» от 26.07.2006 (ред. от 22.12.2020) «конкуренция – соперничество

хозяйствующих субъектов, при котором самостоятельными действиями каждого из них исключается или ограничивается возможность каждого из них в одностороннем порядке воздействовать на общие условия обращения товаров на соответствующем товарном рынке» [О защите конкуренции, 2020].

По нашему мнению, конкуренция представляет собой добровольное соперничество экономических агентов за достижение наилучшего положения и превосходства на рынке.

Каждый макрорегион функционирует в специфической конкурентной среде (рис. 1).

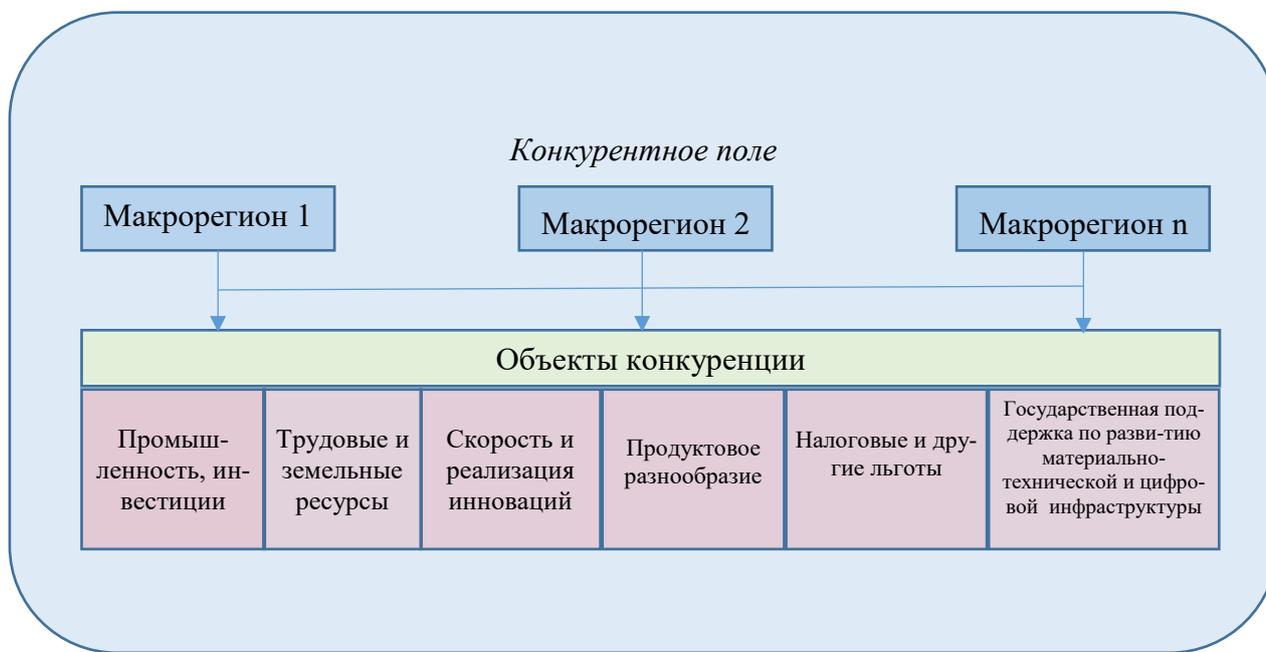


Рис. 1. Конкурентная среда макрорегиона страны
Fig. 1. Competitive environment of the country's macroregion

Конкурентные взаимоотношения между макрорегиональными территориями можно представить в формате «виртуального конкурентного поля». В таких рамках необходимо выделить области интересов – это государственная поддержка для построения инфраструктурных объектов, различные налоговые и таможенные послабления и льготы, увеличение продуктового разнообразия в регионах, прямые ресурсы в формате инвестиций и трудовых кадров, а также увеличение скорости роста инновационных процессов на своей территории.

Под конкуренцией макрорегиона мы понимаем добровольную деятельность, учитывающую положение и особенности функционирования других территорий, по развитию устойчивых преимуществ в производственной и жизнеобеспечивающих сферах для привлечения и удержания ресурсов (факторов производства).

По мнению коллектива авторов под руководством Стрябковой Е.А., которые дают определение конкурентоспособности региона через дифференциацию потенциала кластеризации и перспективы развития сетевого взаимодействия. Другими словами – это способность региона производить услуги и товары, которые будут эффективно продвигаться на внешних и внутренних рынках, что становится возможным только при увеличении выработки ресурсов, а также поддержки выделенных хозяйствующих субъектов внутри региона. Закономерным итогом таких действий станет рост качества жизни населения в регионе, а также значительное снижение уровня социальной уязвимости (соответствующее мировым показателям) [Lyshchikova, Stryabkova, Glotova, Dobrodomova, 2019].

Сам по себе термин «конкурентоспособность региона» стал появляться в научных работах сравнительно недавно. Наиболее полным и перспективным определением данного



термина, вероятно, следует считать позицию Селезнева А.З., который считает, что это своеобразное положение региона, вместе с его отдельными производителями товаров и услуг (внешнего и внутреннего рынка), которое напрямую зависит от факторов экономического, политического и социального генеза. При этом данное положение может быть количественно охарактеризовано при помощи специализированных индикаторов, которые наглядно будут демонстрировать текущее положение и ретроспективные и будущие тенденции роста [Селезнев, 2018].

В работах Васильевой А.В. определение конкурентоспособности региона приводится в контексте территориального уровня социально-экономического развития [Васильева, 2020]. Согласно мнению автора, данный термин следует трактовать, как экономическую способность на региональном (территориальном) уровне поддерживать уровень и качество жизни населения. Кроме этого, конкурентоспособность региона также связывается с возможностями по реализации внутреннего экономического потенциала, который должен быть направлен в отношении развития экономической стороны региона.

По-нашему мнению, конкурентоспособность региона представляет собой комплекс его свойств и качеств, обосновывающих способность превзойти другие территории по уровню и качеству жизни, а также развитию производственного комплекса.

Если говорить о конкурентоспособности макрорегиона, то её целесообразно представлять как совокупность реализованных факторов конкуренции. Это можно сделать, если произвести оценку территории, интегрирующей в себя несколько субъектов, на способность к межрегиональной конкуренции. Это проявляется в таких отдельных областях, как привлечение новых инвестиций, создание высокотехнологичных производственных площадок, ввод новых рабочих мест, а также, определяется непосредственным уровнем развития бизнеса.

Большинство экономистов в своих работах делают акцент на многозначной дефиниции макрорегиональной конкурентоспособности. Это фактическое выражение способности субъекта к достижению высокого темпа экономического роста, характеризующееся стабильностью развития в среднесрочной перспективе. Данной характеристике неизменно должен соответствовать высокий уровень производительности для локальных компаний, а также способность последних поддерживать соответствующий уровень конкуренции для присутствия на международных рынках.

В рамках данной работы можно сделать вывод о том, что конкурентоспособность макрорегиона, представленная в формате экономического пространства, характеризуется в первую очередь именно уровнем развития в промышленном секторе в разрезе применения инновационных технологий и возможностью выпускаемой продукции к конкуренции на других рынках за пределами макрорегиона.

Конкурентоспособность макрорегиона, по-нашему мнению, отражает качественные параметры функционирования территориального производственного комплекса, степени межрегионального сотрудничества и развития кластерных структур. Следовательно, конкурентоспособность макрорегиональной территории можно определить, как свойство территориального образования создавать и развивать устойчивые конкурентные преимущества в производственной сфере, способствующие улучшению предпринимательского и инвестиционного климата, развитию рынка труда и социальной инфраструктуры.

Объекты и методы исследования

На основе данных, представленных в научно-экономической литературе и в официальных статических сборниках Федеральной службы государственной статистики, проведен ретроспективный анализ конкуренции и конкурентоспособности регионов и макрорегионов. На основе эволюционного, системного, институционального и диагностического подходов использованы экономико-статистический, монографический, полиметрический и графический методы анализа. Методы группировки, анализа и

табличный применены для изучения показателей, характеризующих факторы формирования конкурентоспособности макрорегионов России в 2020 г.

Результаты и их обсуждение

Проведем обоснование факторов формирования конкурентоспособности макрорегиона на основе корреляционного анализа. Представим в таблице 1 исходные данные по макрорегионам России в 2020 г., характеризующие факторы формирования их конкурентоспособности.

Таблица 1
Table 1

Показатели, характеризующие факторы формирования конкурентоспособности макрорегионов России в 2020 г.
Indicators characterizing the factors of formation of competitiveness of macro-regions of Russia in 2020

Территория	Валовой макрорегиональный продукт, млрд руб., Y	Численность населения, тыс. человек, X ₁	Площадь территории, тыс. км ² , X ₂	Добыча полезных ископаемых, млн руб., X ₃	Обрабатывающие производства, млн руб., X ₄	Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиц. воздуха, млн руб., X ₅
Центрально-Черноземный макрорегион	3380	7066	167,2	309033	2389135	259449
Центральный макрорегион	29557,7	32185	482,5	1151289	13139376	1514710
Северо-Западный макрорегион	8911,6	12001,3	680,2	349270	5862650	554674
Северный макрорегион	1610	1940,7	1006,7	570250	438859	81590
Южный макрорегион	6598,6	16482,5	447,8	352487	2759953	442433
Северо-Кавказский макрорегион	2296,6	9967,3	170,4	23694	438080	152659
Волго-Камский макрорегион	7811,5	15055,6	534,9	1046628	5467229	498720
Волго-Уральский макрорегион	14097,8	29070,8	1037,0	2027686	8948174	965532
Уральско-Сибирский макрорегион	13227,7	12329,5	1818,5	5351415	5082078	699491
Южно-Сибирский макрорегион	4605,2	10910,6	989,9	897031	2574225	301344
Ангаро-Енисейский макрорегион	4573,4	6093,3	3371,8	1223966	2167281	366768
Дальневосточный макрорегион	5971,6	8124,0	6952,6	2038122	1271611	381324



Окончание табл. 1

Территория	Водоснабжение, водоотв, орг. сбора и утилизации отходов, деят. по ликв. загрязнений, млн руб., X_6	Продукция сельского хозяйства, млн руб., X_7	Ввод в действие общей площади жилых помещений, тыс. м ² , X_8	Оборот розничной торговли, млрд руб., X_9	Сальдированный фин. результат (прибыль минус убыток) в экономике, млн руб., X_{10}	Индекс потребительских цен, процентов, X_{11}
Центрально-Черноземный макрорегион	51929	974561	5331,8	1645,1	693665	105,9
Центральный макрорегион	325272	712003	20201,4	10204,6	3840709	105,3
Северо-Западный макрорегион	119873	242986	8584,5	2972	2209333	105,0
Северный макрорегион	15019	23981	578,1	446,7	22274	105,6
Южный макрорегион	107927	1018201	10701,1	3534,1	649014	105,2
Северо-Кавказский макрорегион	19669	504380	3995,8	1605,5	31595	106,1
Волго-Камский макрорегион	128691	679929	6429,9	3047,2	435965	105,1
Волго-Уральский макрорегион	241148	1460202	15774,9	5786,1	856291	105,3
Уральско-Сибирский макрорегион	170790	332108	6953,7	2828,4	1835154	104,2
Южно-Сибирский макрорегион	112715	439159	4676,7	1869,5	208332	104,6
Ангаро-Енисейский макрорегион	51012	183453	2811,6	1075,1	1274618	105,2
Дальневосточный макрорегион	43629	207330	2554,7	1906,7	800086	105,0

В проводимом исследовании результативный признак конкурентоспособности макрорегиона (Y) представлен показателем валового макрорегионального продукта. На основе рассмотренных теорий сделано предположение, что конкурентоспособность макрорегиона формируется под влиянием нескольких факторных признаков (X_1, X_2, \dots, X_{11}).

Уравнение множественной регрессии конкурентоспособности макрорегиона имеет вид $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_{11})$.

В процессе факторного анализа построено уравнение множественной регрессии факторов конкурентоспособности макрорегиона:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p + \mathcal{E}. \quad (1)$$

Параметры линейного уравнения множественной регрессии факторов конкурентоспособности макрорегиона были определены методом наименьших квадратов, для чего была построена и решена следующая система нормальных уравнений:

$$(2) \begin{cases} \sum y = nb_0 + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 + \dots + b_p \sum x_p, \\ \sum yx_1 = b_0 \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1 x_2 + \dots + b_p \sum x_1 x_p, \\ \dots \\ \sum yx_p = b_0 \sum x_p + b_1 \sum x_1 x_p + b_2 \sum x_1 x_p + \dots + b_p \sum x_p^2, \end{cases}$$

Рассчитанные коэффициенты корреляции факторов формирования конкурентоспособности макрорегионов России в 2020 г. представлены в таблице 2.

Таблица 2
Table 2

Коэффициенты корреляции факторов формирования конкурентоспособности макрорегионов России в 2020 г.

Correlation coefficients of factors of formation of competitiveness of macro-regions of Russia in 2020

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
Y	1,000											
X ₁	0,864	1,000										
X ₂	-0,127	-0,277	1,000									
X ₃	0,327	0,134	0,346	1,000								
X ₄	0,945	0,910	-0,270	0,221	1,000							
X ₅	0,986	0,912	-0,115	0,320	0,970	1,000						
X ₆	0,944	0,933	-0,257	0,336	0,970	0,966	1,000					
X ₇	0,304	0,671	-0,419	-0,088	0,450	0,406	0,490	1,000				
X ₈	0,884	0,969	-0,356	0,084	0,924	0,921	0,930	0,653	1,000			
X ₉	0,957	0,947	-0,237	0,110	0,941	0,963	0,936	0,494	0,959	1,000		
X ₁₀	0,872	0,588	-0,026	0,264	0,796	0,840	0,737	0,002	0,692	0,765	1,000	
X ₁₁	-0,256	-0,097	-0,301	-0,714	-0,213	-0,254	-0,338	0,231	-0,068	-0,078	-0,275	1,000

Условные обозначения:

Y – Валовой макрорегиональный продукт, млрд руб.,

X₁ – Численность населения, тыс. человек,

X₂ – Площадь территории, тыс. км²,

X₃ – Добыча полезных ископаемых, млн руб.,

X₄ – Обрабатывающие производства, млн руб.,

X₅ – Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха, млн руб.,

X₆ – Водоснабжение, водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений, млн руб.,

X₇ – Продукция сельского хозяйства, млн руб.,

X₈ – Ввод в действие общей площади жилых помещений, тыс. м²,

X₉ – Оборот розничной торговли, млрд руб.,

X₁₀ – Сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток) в экономике, млн руб.,

X₁₁ – Индекс потребительских цен, процентов

	– сильная теснота связи
	– слабая теснота связи
	– связь практически отсутствует



Коэффициенты корреляции факторов формирования конкурентоспособности макрорегионов России в 2020 г. показывают, на сколько единиц изменяется в среднем результирующий признак (валовой макрорегиональный продукт, Y) при увеличении признаков X_n на единицу, при условии закрепления на постоянном (среднем) уровне всех других факторов в линейной модели.

Рассчитанные коэффициенты корреляции свидетельствуют о тесной связи между следующими факторными признаками при формировании конкурентоспособности макрорегионов России: численность населения, обеспечение электрической энергией, газом и паром, кондиционирование воздуха, водоснабжение, водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений, ввод в действие общей площади жилых помещений, оборот розничной торговли, сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток) в экономике.

Слабое влияние на формирование конкурентоспособности макрорегионов России оказывали показатели объема добычи полезных ископаемых и производства продукции сельского хозяйства.

Следует отметить, что установлено отсутствие связи между конкурентоспособностью макрорегионов страны и размерами площади территории, а также индексом потребительских цен.

В целом, можно констатировать влияние при формировании конкурентоспособности макрорегионов страны факторов ресурсной базы (включая природные, трудовые и производственные), материально-технического потенциала, уровня инфраструктурного развития, финансовой результативности деятельности макрорегионального комплекса.

Можно сделать вывод, что конкурентоспособность макрорегиональной социально-экономической системы подразумевает, в первую очередь, наличие приемлемых условий для функционирования и развития деятельности хозяйствующих субъектов. Конкуренция между территориями отражает цели региональной политики по равномерному размещению производства в стране, обеспечению рабочими местами граждан.

Макрорегионы страны необходимы для территориального управления государством, а также развития народного хозяйства по принципу отраслевой специализации. Уровень такого развития макрорегиональных социально-экономических систем напрямую связан с их конкурентоспособностью.

Заключение

Конкурентоспособность на уровне макрорегиона представляется с точки зрения многомерной категории, основываясь на характеристике регионального субъекта к привлечению разнообразных ресурсов извне. Кроме этого, данное определение включает в себя технологическую и техническую характеристику региональных производственных площадок, а также фактор привлекательности генерируемых товаров и услуг, как на внутренних, так и на внешних рынках. Кроме этого, есть целый ряд факторов, которые позволяют охарактеризовать конкурентную позицию региональной субъектности (или объединения), в частности – обеспеченность сырьевыми и природными ресурсами; наличие свободных земельных участков для создания новых производственных площадей (либо модернизации уже существующих); эффективное управление существующими производственными ресурсами; форматированность экономической структуры макрообъединения в соответствии с потребностями внутренних и внешних рынков; присутствие трудовых кадров с соответствующей квалификацией и опытом; присутствие интеллектуальных ресурсов для реализации наукоёмких проектов; соответствующий уровень развития рыночно-материальной инфраструктуры на уровне региона; хозяйственные и межрегиональные связи, характеризующиеся значительной устойчивостью; развитая научно-техническая и научно-информационная база в контексте поддержания производственно-коммерческой деятельности; присутствие стратегической ориентации региона на максимизацию выпуска конкурентоспособной продукции (на отечественные и международные рынки); достижение высокой доли конку-

рентоспособной продукции в структуре производства региона; присутствие эффективных логистических схем движения товаров; поддержание баланса в бюджетно-финансовой системе региона; присутствие нераскрытого внешнего экономического потенциала, как зоны роста в будущем; присутствие свободной ёмкости внутри регионального рынка, а также локальная близость к мировым рынкам; присутствие авторитета у региональных управленцев среди населения; реализация на региональных уровнях программ, ориентированных на социальную поддержку; поддержка развития экономики на всех уровнях региональной власти.

Проведенный корреляционный анализ позволил выявить и обосновать ряд ключевых факторов, которые лежат в основе потенциала развития конкурентоспособности макрорегионов Российской Федерации, а именно – трудовые, финансовые, природные, материально-технические, производственные и инфраструктурные.

В настоящее время мировые экономические процессы протекают в условиях развития совершенно новых процессов интеграции и глобализации, что демонстрирует увеличивающуюся актуальность в исследовании конкурентоспособности экономик выделенных территорий. Практические данные свидетельствуют о том, что конкурентоспособность экономики конкретной страны определяется устойчивостью и высокой динамикой развития регионов внутри. Именно этот факт значительно усиливает роль конкурентоспособности макрорегиона, как хозяйствующего субъекта в современных условиях.

Макрорегион страны в современном формате – это важная субъективная единица для пространственной экономической политики, представляющаяся больше в формате территориальной субъективной единицы народного хозяйства. Между отдельными макрорегионами присутствуют логистические и экономические связи, которые определяют товарные и финансовые потоки, но также имеют специфическую специализацию. Основное значение макрорегиона можно сформулировать, как вектор развития производственной инфраструктуры на закрепленной территории, проявляющийся также в оптимизации специализаций и более эффективном управлении производственными мощностями.

Важно подчеркнуть и некоторые специфические черты территорий макрорегионального типа, которые оказывают непосредственное влияние на характер и условия конкурентной борьбы. Регулятором определен устойчивый курс на социально-экономическое развитие всех территорий, что реализуется через выделение финансовых ресурсов и определение преференций, что, собственно, и выступает приоритетным объектом конкуренции между макрорегионами. Дополнительными объектами конкуренции следует назвать талантливые трудовые ресурсы, а также высокотехнологичные производственные компании.

Список источников

О защите конкуренции: федер. закон от 26.07.2006 г. № 135-ФЗ (ред. от 22.12.2020). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61763/ (дата обращения: 22 декабря 2021).

Список литературы

- Васильева А.В. 2020. Конкурентоспособность как отражение эффективности социально-экономического развития региона (на примере Амурской области). В кн.: Актуальные проблемы и перспективы развития государственной статистики в современных условиях. Саратов, Саратовский социально-экономический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»: 17–20.
- Горбунова Е.И. 2021. Формирование межрегиональных кластеров на основе отраслевой специализации территорий. Региональная экономика: теория и практика, 19 (12): 2308–2324.
- Данилова Т.А. 2021. Конкуренция как важнейший показатель устойчивого развития региона. В кн.: Формирование экономической устойчивости региональных социально-экономических систем. Владимир, Атлас: 52–56.
- Катов В.В. 2019. Роль государственного регулирования в развитии конкурентной среды в регионе. Ученые записки, 3(31): 59–65.



- Коробов Ю.И. 2019. Конкуренция на финансовых рынках в условиях цифровизации экономики. *Экономическая безопасность и качество*, 3 (36): 11–13.
- Матвеев В.В. 2021. Устойчивость региональной экономики и структурные сдвиги: теория и практика. *Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право*, 31 (6): 970–975.
- Показаньева Т.В. 2021. Развитие конкуренции в регионах РФ. В кн.: *Приоритетные направления регионального развития*. Курган, Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева: 234–238.
- Селезнев А.З. 2018. Сущность конкурентоспособности национальной экономики и ее индикаторы. В кн.: *Актуальные проблемы экономики, учета, аудита и анализа в современных условиях*. М., Научный консультант: 383–391
- Сергеева К.И., Киселёва Д.А. 2021. Конкурентоспособность: сущность, методы оценки на различных уровнях управления. В кн.: *Наука, образование и бизнес в современных условиях*. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный экономический университет: 69–72.
- Юданов А.Ю. 2019. Теория конкуренции: прикладные аспекты. *Мировая экономика и международные отношения*, 6: 41.
- Ansell C., Gash A. 2018. Collaborative platforms as a governance strategy. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 28 (1): 16–32.
- Granberg A.G. 2017. State responsibility for national security and economic development under the economic sanctions. *Бизнес, менеджмент и право*, 1: 140.
- Leydesdorff L., Zawdie G. 2010. The triple helix perspective of innovation systems. *Technology Analysis & Strategic Management*, 22 (7): 789–804.
- Lyshchikova J.V., Stryabkova E.A., Glotova A.S., Dobrodomova T.N. 2019. The «smart region» concept: the implementation of digital technology. *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 10 (4): 1338–1345.
- Nagirnyak A.S. 2020. Competition of regions for forest development. В кн.: *Формирование конкурентной среды, конкурентоспособность и стратегическое управление предприятиями, организациями и регионами*. Пенза, Пензенский государственный аграрный университет: 123–126.
- Nakwa K., Zawdie G. 2016. The ‘third mission’ and ‘triple helix mission’ of universities as evolutionary processes in the development of the network of knowledge production: Reflections on SME experiences in Thailand. *Science and Public Policy*, 43 (5): 622–629.
- Porter M.E. 1990. The competitive advantage of nations. *Harvard business review*, 68 (2): 73–93.
- Sari Y., Azmukhanova A. 2020. The competition of major powers for the caspian energy resources, *Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Historical sciences. Philosophy. Religion Series*, 2 (131): 56–67.
- Tretyakova L.A., Vladika M.V., Tselyutina T.V., Vlasova T.A., Timokhina O.A. 2020. Profitable production as a socio-economic based on supply chain management with lean production. *International Journal of Supply Chain Management*, 9 (4): 1174–1181.
- Vaganova O.V., Solovjeva N.E., Tamov R.M. 2021. Managing the russian agro-industrial complex during the pandemic in the context of digitalization. *Webology*, 18: 857–870.
- Vladyka M. V., Doroshenko Yu. A., Rudychev A. A., Goncharenko T. V. 2020. Improving the competitiveness of construction industry enterprises in regional housing markets. *Financial Economics*, 11: 29–33.

References

- Vasilyeva A.V. 2020. Competitiveness as a reflection of the effectiveness of socio-economic development of the region (on the example of the Amur region). In: *Actual problems and prospects of development of state statistics in modern conditions*. Saratov, Saratov Socio-Economic Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Plekhanov Russian University of Economics": 17–20 (in Russian).
- Gorbunova E.I. 2021. Formation of interregional clusters based on the sectoral specialization of territories. *Regional economy: theory and practice*, 19 (12): 2308–2324 (in Russian).
- Danilova T.A. 2021. Competition as the most important indicator of the sustainable development of the region. In: *Formation of economic stability of regional socio-economic systems*. Vladimir, Atlas: 52–56 (in Russian).
- Katov V.V. 2019. The role of state regulation in the development of a competitive environment in the region. *Scientific notes*, 3(31): 59–65 (in Russian).

- Korobov Yu.I. 2019. Competition in financial markets in the context of digitalization of the economy. *Economic security and quality*, 3 (36): 11–13 (in Russian).
- Matveev V.V. 2021. Sustainability of the regional economy and structural shifts: theory and practice. *Bulletin of the Udmurt University. Economics and Law Series*, 31 (6): 970–975 (in Russian).
- Pokazanjeva T.V. 2021. Development of competition in the regions of the Russian Federation. In the book: *Priority directions of regional development*. Kurgan, Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev: 234–238 (in Russian).
- Seleznev A.Z. 2018. The essence of the competitiveness of the national economy and its indicators. In: *Actual problems of economics, accounting, audit and analysis in modern conditions*. M., Scientific consultant: 383–391 (in Russian).
- Sergeeva K.I., Kiseleva D.A. 2021. Competitiveness: the essence, methods of evaluation at various levels of management. In: *Science, Education and Business in modern conditions*. Saint Petersburg, Saint Petersburg State University of Economics: 69–72 (in Russian).
- Yudanov A.Yu. 2019. Competition theory: applied aspects. *World economy and international relations*, 6: 41 (in Russian).
- Ansell C., Gash A. 2018. Collaborative platforms as a governance strategy. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 28 (1): 16–32.
- Granberg A.G. 2017. State responsibility for national security and economic development under the economic sanctions. *Business, Management and Law*, 1: 140.
- Leydesdorff L., Zawdie G. 2010. The triple helix perspective of innovation systems. *Technology Analysis & Strategic Management*, 22 (7): 789–804.
- Lyshchikova J.V., Stryabkova E.A., Glotova A.S., Dobrodomova T.N. 2019. The «smart region» concept: the implementation of digital technology. *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 10 (4): 1338–1345.
- Nagirnyak A.S. 2020. Competition of regions for forest development. Formation of a competitive environment, competitiveness and strategic management of enterprises, organizations and regions. Penza, Penza State Agrarian University: 123–126.
- Nakwa K., Zawdie G. 2016. The ‘third mission’ and ‘triple helix mission’ of universities as evolutionary processes in the development of the network of knowledge production: Reflections on SME experiences in Thailand. *Science and Public Policy*, 43 (5): 622–629.
- Porter M.E. 1990. The competitive advantage of nations. *Harvard business review*, 68 (2): 73–93.
- Sari Y., Azmukhanova A. 2020. The competition of major powers for the caspian energy resources, *Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Historical sciences. Philosophy. Religion Series*, 2 (131): 56–67.
- Tretyakova L.A., Vladika M.V., Tselyutina T.V., Vlasova T.A., Timokhina O.A. 2020. Profitable production as a socio-economic based on supply chain management with lean production. *International Journal of Supply Chain Management*, 9 (4): 1174–1181.
- Vaganova O.V., Solovjeva N.E., Tamov R.M. 2021. Managing the russian agro-industrial complex during the pandemic in the context of digitalization. *Webology*, 18: 857–870.
- Vladyka M. V., Doroshenko Yu. A., Rudychev A. A., Goncharenko T. V. 2020. Improving the competitiveness of construction industry enterprises in regional housing markets. *Financial Economics*, 11: 29–33.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Владька Марина Валентиновна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Marina V. Vladyka, Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia



Стрябкова Елена Анатольевна, доктор экономических наук, доцент, заведующая кафедрой прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Elena A. Stryabkova, Doctor of Economics, Associate Professor, Head of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Лыщикова Юлия Владимировна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Julia V. Lyshchikova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Горбунова Елена Игоревна, ассистент кафедры инновационной экономики и финансов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Elena I. Gorbunova, Assistant of the Department of Innovative Economics and Finance, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 332.14

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-17-30

Оценка пространственного баланса России: региональный аспект

Манаева И.В.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308000, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: in.manaeva@yandex.ru

Аннотация. Размещение производительных сил в пространственной экономике России является уникальным: регионы РФ расположены в границах одиннадцати часовых поясов, в состав РФ входит 85 субъектов, расположенных в различных природно-географических условиях, отсутствуют города с численностью населения от 2 до 5 млн чел., 85 % городов имеют численность населения менее 100 тыс. чел. Географические индивидуальности, климатическое многообразие и последствия плановой экономики советского периода определяют актуальность исследования особенностей пространственного дисбаланса российских городов и регионов. Цель статьи – оценить пространственное равновесие в регионах России. Научная новизна исследования заключается в том, что методика оценки пространственного баланса основана на определении потенциала пространственных предложений и интенсивности спроса на развитие с определением состояния пространственного равновесия. По результатам проведенных расчетов заключили, что максимальным потенциалом обладают Москва, Московская область, так как на их территории сконцентрированы промышленные, финансовые, трудовые и научные ресурсы. Высокие значения получены для регионов-нефтяников (Ненецкий, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа). Интенсивность спроса на развитие широко дифференцирована: высокий уровень определен для Москвы и Санкт-Петербурга, оставшиеся регионы имеют низкий уровень данного показателя. Баланс высокого уровня (1,15 %) присутствует только в одном субъекте – городе Москве. Чрезмерное использование потенциала (1,15 %) наблюдается в Санкт-Петербурге. Сильное отставание в развитии характерно для 6,9 % регионов; отстают в развитии 18,39 % регионов; 72,41 % регионов России наблюдается баланс низкого уровня. Практическое значение исследования заключается в возможности применения полученных результатов органами власти в части подготовки региональных стратегий и программ социально-экономического развития, ориентированных на повышение качества жизни населения.

Ключевые слова: регион, пространственный баланс, неравенство, территориальное развитие, экономика

Благодарность: исследование поддержано грантом РФФИ, проект № 19-010-00523.

Для цитирования: Манаева И.В. 2022. Оценка пространственного баланса России: региональный аспект. Экономика. Информатика. 49(1): 17–30. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-17-30

Assessment of the spatial balance of Russia: regional aspect

Inna V. Manaeva

Belgorod National Research University
85 Pobedy St, Belgorod, 308000, Russia,
E-mail: in.manaeva@yandex.ru

Abstract. The distribution of productive forces in the spatial economy of Russia is unique: the regions of the Russian Federation are located within eleven time zones, the Russian Federation includes 85 subjects located in various natural and geographical conditions, there are no cities with a population of 2 to 5 million people, 85% cities have a population of less than 100 thousand people. Geographical individualities, climatic diversity and the consequences of the planned economy of the Soviet period determine the relevance of studying the features of the



spatial imbalance of Russian cities and regions. The purpose of the article is to assess the spatial equilibrium in the regions of Russia. The scientific novelty of the research lies in the fact that the method for assessing the spatial balance is based on determining the potential of spatial proposals and the intensity of demand for development with the determination of the state of spatial equilibrium. Based on the results of the calculations, it was concluded that Moscow and the Moscow region have the maximum potential, since industrial, financial, labor, and scientific resources are concentrated on their territory. High values were obtained for oil-producing regions (Nenets, Khanty-Mansi and Yamalo-Nenets autonomous okrugs). The intensity of demand for development is widely differentiated: a high level is determined for Moscow and St. Petersburg, the remaining regions have a low level of this indicator. The balance of a high level (1.15 %) is present only in one subject - the city of Moscow. Overuse of potential (1.15%) is observed in St. Petersburg. A strong lag in development is characteristic of 6.9 % of the regions; lagging behind in the development of 18.39 % of regions; 72.41 % of Russian regions have a low balance. The practical significance of the study lies in the possibility of applying the results obtained by the authorities in terms of preparing regional strategies and programs for socio-economic development aimed at improving the quality of life of the population.

Keywords: region, spatial balance, inequality, territorial development, economy

Acknowledgment: the study was supported by a grant from the Russian Foundation for Basic Research, project No. 19-010-00523.

For citation: Manaeva I.V. 2022. Assessment of the spatial balance of Russia: regional aspect. Economics. Information technologies. 49(1): 17–30 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-17-30

Введение

Определение приоритетов пространственно-экономического развития городов и регионов России является ключевой стратегической задачей. Существующие региональные диспропорции по ряду основных показателей (численность и плотность населения, уровень доходов, развитие промышленности, доступность качественной медицинской помощи и образования, природно-климатические условия) искажают территориальное пространство страны, демонстрируют его недостаточную целостность, что снижает качество жизни населения и представляет угрозу социально-политической стабильности. Феномен размещения производительных сил в пространственной экономике России является уникальным по ряду причин: РФ занимает 1-е место в мире по площади территории и 181-е по плотности населения; регионы РФ расположены в границах одиннадцати часовых поясов; в состав РФ входит 85 субъектов (22 республики, 9 краев, 46 областей, 3 города федерального значения, 1 автономная область и 4 автономных округа), расположенных в различных природно-географических условиях, определяющих их приоритеты и угрозы развития; городская система РФ высоко дифференцирована: Москва и Санкт-Петербург оторваны от остальной группы городов, отсутствуют города с численностью населения от 2 до 5 млн чел., 85 % городов имеют численность населения менее 100 тыс. чел.

Ввиду географических индивидуальностей, климатического многообразия и последствий плановой экономики советского периода исследование особенностей пространственного неравенства в современных российских условиях приобретает особую актуальность. Несмотря на то, что феномен пространственного дисбаланса является наблюдаемым и очевидным, в экономической науке остается недостаточно изученным. Таким образом, целью данной работы выступает оценка пространственного равновесия в регионах России.

Теоретические основы исследования

Пространственный региональный дисбаланс является актуальной проблемой зарубежных и отечественных исследователей. Развитие агломерационной экономики способствует концентрации населения и ресурсов в высокоразвитых регионах, вызывая несбалансированную пространственную структуру региональной экономики, населения, ресурсов и качества

жизни. Ряд исследователей заключили, что между агломерацией и экономикой существует перевернутая U-зависимость [Jin et al, 2018]. В 1965 г. Дж. Уильямс изучал перевернутую U-образную модель регионального дисбаланса в экономическом росте на примере США, впоследствии в данном научном направлении был проведен ряд исследований [Combes et al, 2011; Badia-Miro et al., 2012; 4. Geary, Stark, 2016], в ходе которых ученые получили следующие выводы:

- межрегиональная дифференциация в США сокращалась с 1880 по 1970-е гг. [Kim, 1998];
- региональный дисбаланс в Италии способствовал возникновению конвергенции между северными и центральными регионами после достижения пика [Felice, 2011];
- фактором роста региональной дифференциации в Колумбии определен рост мегаполиса [Cuadrado-Roura, Arco, 2013].

Для оценки регионального неравенства применяют коэффициент вариации (CV), коэффициент Джини и индекс Тейла.

А. Блющ и А. Киевска [Bluszcz, Kijewska, 2015] заключили, что для поддержания устойчивого развития необходимо одновременно достичь баланса в экономических, социальных и экологических аспектах. Пространственный баланс – это реализация концепции устойчивого развития, которая включает экономику, общество, экологию и т. д. Fan, Li, 2009]. Целью реализации сбалансированного регионального состояния является достижение всестороннего развития, ориентированного на человека, с точки зрения экономической, социальной и экологической сфер, с принципом максимизации общих преимуществ [Lu, 2010]. З. Чжо с соавторами определили, что пространственный баланс означает оптимальное состояние «эффективности Парето» в пространственной координации населения, экономики, ресурсов и окружающей среды, оптимальное пространственное размещение товаров и экономической деятельности [Zhuo, Chen W, Sun, 2008]. Ученые, анализируя влияние пространственного баланса на устойчивое развитие, заключили, что политическое регулирование необходимо при рассмотрении социально-экономических и экологических условий [Hube, Owen, Cinderby, 2007; Ogneva-Himmelberger, Pearsall, Rakshit, 2009].

Ю. Чжан с соавторами представили оценочную модель регионального пространственного баланса, основанную на соотношении спроса и предложений. Эмпирический анализ провинции Шаньдун с применением данной модели продемонстрировал отсутствие пространственного равновесия [Zhang et al, 2016]. Х. Чен с соавторами провели оценку регионального баланса в Китае путем соотношения пространственного потенциала предложений и интенсивности спроса. В исследовании были включены 290 городов, по результатам которого ученые заключили, что ни один город в Китае не достиг сбалансированного развития, 107 городов имеют сбалансированное состояние [Shen, Teng, Song, 2018].

Рассматривая работы российских ученых, необходимо отметить исследователей, которые создали систему экономического районирования СССР для рационального размещения производительных сил в территориальном пространстве: И.Г. Александров [Александров, 1928], Н.Н. Колосовский [Колосовский, 1969], Я.Г. Фейгин [Фейгин, 1969], Н.Н. Некрасов [Некрасов, 1978]. Е.Г. Анимица подчеркивает, что жесткая централизация и плановая экономика надолго закрепили мозаичный каркас размещения производительных сил в СССР [Анимица, 2014].

Актуальные проблемы пространственного неравенства городов и регионов РФ представлены в работах: В.В. Андреева, В.Ю. Лукияновой, Е.Н. Кадышева [Андреев, Лукиянова, Кадышев, 2017], О.С. Балаш [Балаш, 2013], Е.Б. Дворядкина, Е.А. Белоусовой [Дворядкина, Белоусова, 2020], Е.А. Коломак [Коломак, 2018], Ибрагимовой З.Ф., Франц М.В. [Ибрагимова, Франц, 2020], М.Н. Макаровой [Макарова 2021] и др.

Данные и методы

В данном исследовании под пространственным равновесием понимается пространственное соответствие региональных социально-экономико-экологических факторов спроса и предложений. Несоответствие приведет к тому, что интенсивность регионального развития не будет согласовываться с производительностью ресурсных факторов, что в последствии станет драйвером пространственного дисбаланса.

На рисунке 1 представлен пространственный баланс спроса и предложений.

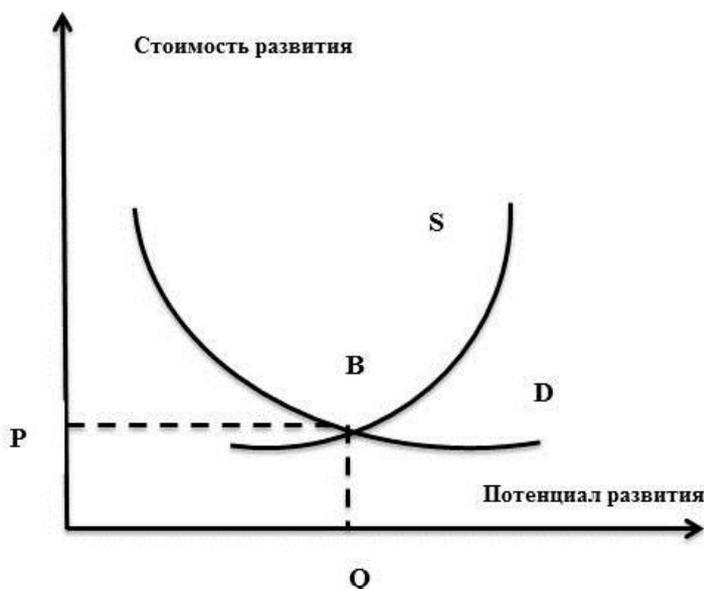


Рис. 1. Пространственный баланс спроса и предложений
Fig. 1. Spatial balance of supply and demand

Где:

D – кривая спроса;

S – кривая предложения;

B – точка баланса;

Q – потенциал регионального развития.

P – стоимость развития.

Таким образом, пространственный дисбаланс возникнет, когда масштаб и степень регионального развития либо превышают, либо не могут полностью использовать потенциальные производственные возможности региона.

Этапы проведения исследования:

1. Формирование выборки. В исследование включены 85 субъектов РФ, оценка автономных округов (Ненецкий, Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий) проводилась отдельно от Архангельской и Тюменской областей. Период исследования – 2019 г. Анализируемые показатели представлены в таблице 1.

Интенсивность экономического потенциала демонстрирует уровень экономической и социальной активности в регионе и занятость ими ресурсов и окружающей среды, которые измеряются экономической плотностью в регионе. Интенсивность освоения земель отражает долю земель, занятых сельскохозяйственной деятельностью. Интенсивность социального развития и образования демонстрирует уровень концентрации населения и образования.

В работе для каждого показателя на основании анализа зарубежных исследований определены веса.

Таблица 1
Table 1

Система оценочных индексов
The system of evaluation indices

Системный уровень	Индекс первого класса	Веса	Индекс второго класса	Веса
Потенциал пространственных предложений	Экономический потенциал	0,25	ВРП на душу населения	0,15
			Инвестиции в основной капитал на душу населения	0,10
	Ресурсный потенциал	0,20	Национальная земля на душу населения	0,10
			Водоснабжение на душу населения	0,10
	Транспортный потенциал	0,20	Грузооборот автомобильного транспорта	0,10
			Грузооборот железнодорожного транспорта	0,10
	Социальный потенциал	0,15	Численность населения	0,15
	Экологические ограничения	0,20	Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты	0,10
Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух			0,10	
Интенсивность спроса на региональное развитие	Интенсивность экономического развития	0,35	Экономическая плотность	0,35
	Интенсивность освоения земель	0,25	Доля сельскохозяйственных угодий.	0,25
	Интенсивность социального развития	0,20	Плотность населения	0,20
	Интенсивность образования	0,20	Число образовательных организаций среднего профессионального образования	0,10
			Число образовательных организаций высшего образования и научных организаций	0,10

2. Стандартизация первичных статистических показателей будет проведена с применением метода z-оценки, основанном на среднем и стандартном отклонении. В соответствии с весом индексов рассчитываются комплексные оценки потенциала пространственного предложения и интенсивности спроса на развитие, при этом оценки доминирующих индексов



принимают положительное направление, а показатели ограничивающих индексов занимают обратное положение. Расчеты будут проведены по следующей формуле:

$$f = \sum_{k=1}^n w_k * u_i, \quad (1)$$

где:

f – комплексный балл потенциала пространственных предложений и интенсивности спроса на развитие;

w_k – веса различных индексов;

n – количество различных индексов;

u_i – значение индекса i .

3. Стандарты классификации уровня потенциала пространственных предложений и интенсивности спроса на развитие представлены в таблице 2.

Таблица 2
Table 2

Стандарты классификации уровня потенциала и стоимости развития в регионах России
 Standards for the classification of the level of potential and the cost of development in the regions of Russia

Уровень	Потенциал пространственных предложений	Интенсивность спроса на развитие
Низкий	Ниже 0,1	Ниже 1,2
Средний	0,8–0,1	2,7–1,3
Высокий	Выше 0,9	Выше 2,8

4. Оценка взаимосвязи потенциала пространственных предложений и интенсивности спроса на развитие проводится с применением кластерного анализа, что позволяет систематизировать региональный баланс (низкий, средний и высокий) и сформировать различные его виды (рис. 2).

5.



Рис. 2. Классификация состояний пространственного равновесия
 Fig. 2. Classification of states of spatial equilibrium

Результаты авторского исследования

Для того чтобы дать общее представление о пространственном дисбалансе России, на рисунке 3 представлена динамика ВРП в расчете на душу населения в разрезе федеральных округов РФ.

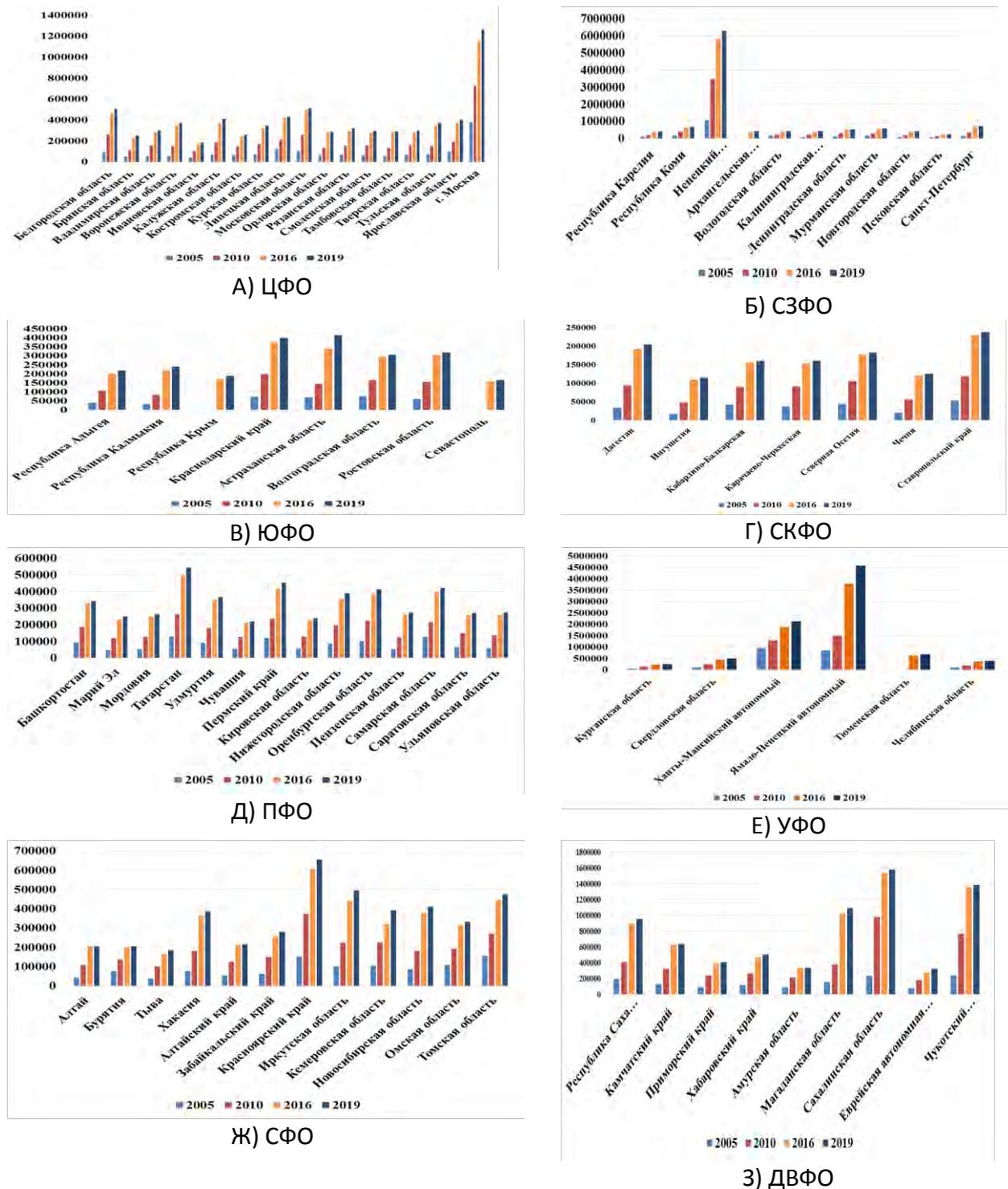


Рис. 3. Динамика ВРП на душу населения в регионах РФ в 2005 г., 2010 г., 2016 г., 2019 г., руб. [Регионы России. Социально-экономические показатели. 2020: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2020. 1242 с.]

Fig. 3. Dynamics of GRP per capita in the regions of the Russian Federation in 2005, 2010, 2016, 2019, rubles



Таким образом, наблюдается широкая дифференциация ВРП на душу населения в границах федеральных округов РФ и страны в целом. Как демонстрирует рисунок 3, наибольший разрыв наблюдается в Центральном федеральном округе, что логично и закономерно, так как Москва является лидером по производству и качеству жизни населения; и Северо-Западном федеральном округе, где доминирующие позиции занимает Ненецкий автономный округ. Подчеркнем, что ввиду суровых климатических условий данный субъект РФ является самым малонаселенным, при этом на его территории расположены большие запасы нефти и газа, ведущей отраслью промышленности выступает топливная, данные факторы определяют высокие значения показателя. В целом за весь анализируемый период наблюдается положительная динамика ВРП на душу населения в регионах РФ.

На рисунке 4 представлена динамика «среднегодовой температуры» в городе в границах федеральных округов в 2009–2019 гг., анализ которой позволяет выявить пространственно-временные закономерности на территории России.

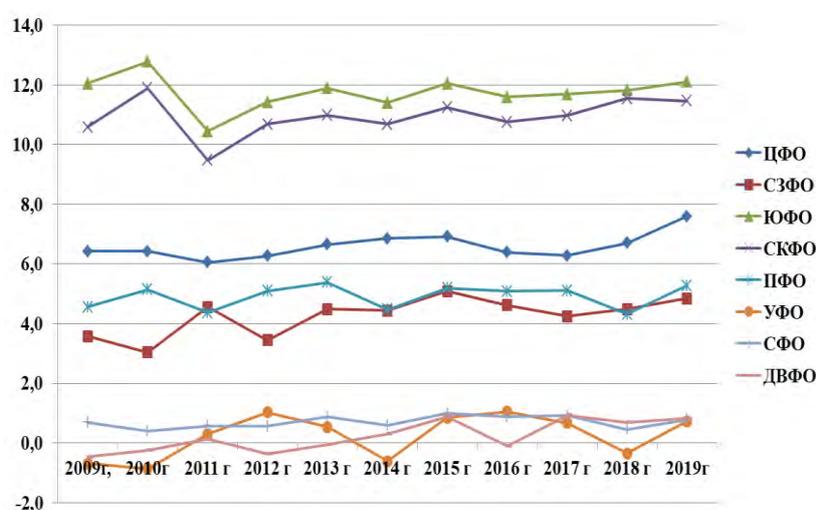


Рис. 4. Динамика среднегодовой температуры воздуха в федеральных округах России 2009–2019 гг С°
 [Температура воздуха и осадки по месяцам и годам: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php>.]

Fig. 4. Dynamics of the average annual air temperature in the federal districts of Russia 2009–2019 С °

Таким образом, в территориальном пространстве РФ наблюдается три уровня среднегодовых температур: высокий (Южный и Северокавказский федеральные округа); средний (Центральный, Северо-Западный и Приволжский федеральные округа) и низкий уровень (Уральский, Сибирский и Дальневосточный федеральные округа). Примечательно, что на всей территории РФ с 2011 г. (исключением является Уральский федеральный округ) наблюдается увеличение среднегодовой температуры воздуха.

Результаты оценки комплексного балла потенциала пространственных предложений и интенсивности спроса на развитие в регионах РФ представлены на рисунках 5, 6.

Анализируя уровень комплексного балла потенциала пространственных предложений в регионах РФ с применением критериев таблицы 2, определили, что высоким уровнем обладают Москва, Московская область, Ненецкий автономный округ, Краснодарский край, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа; средний уровень получен для Санкт-Петербурга, Ленинградской области, Ростовской области, Ставропольского края, республики Башкортостан и Татарстан, Пермского края, Нижегородской области, Самарской области, Свердловской области, Челябинской области, Алтайского края, Забайкальского края, Красноярского края, Чукотского автономного округа; оставшиеся регионы имеют низкий уровень потенциала пространственных предложений.

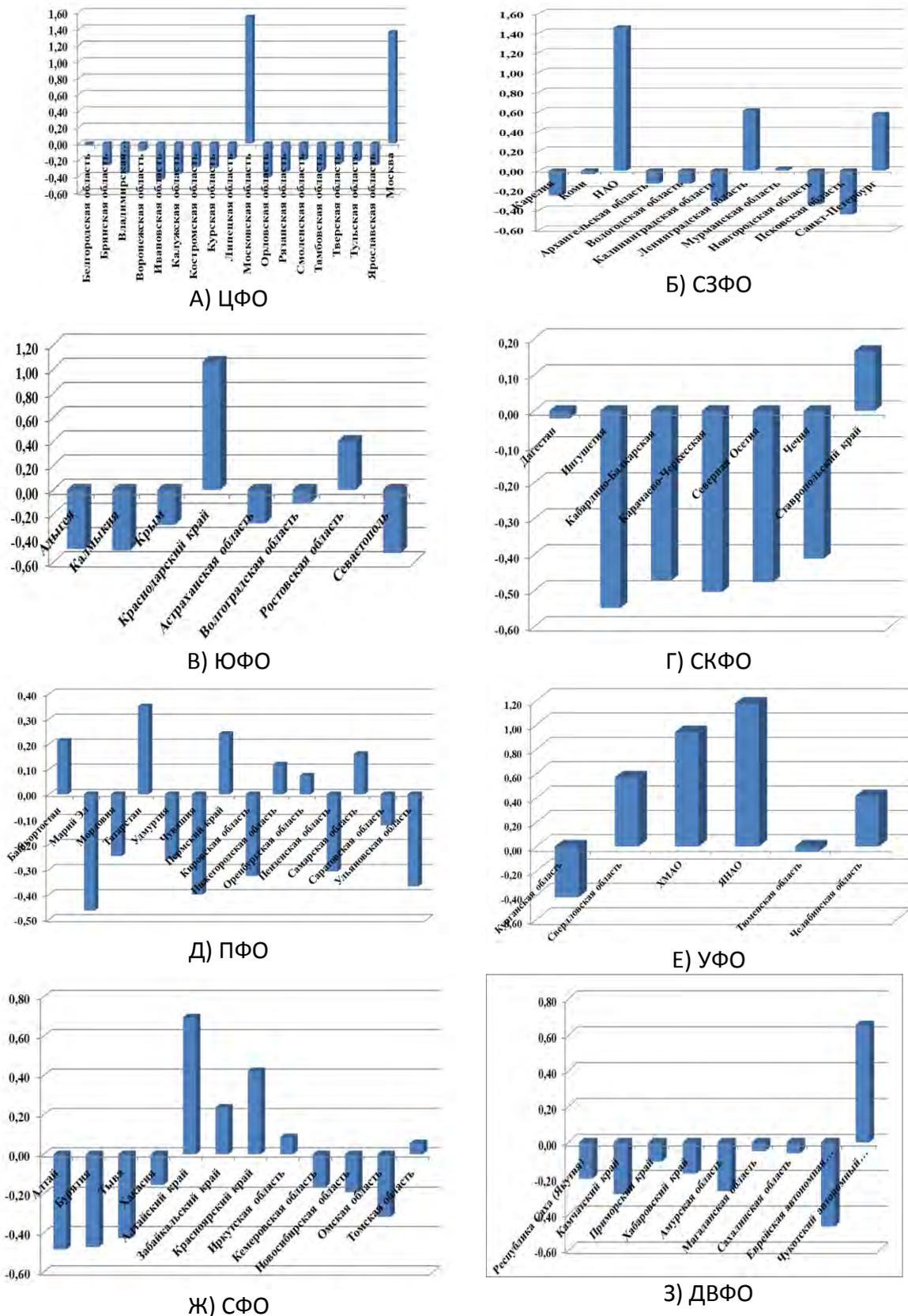


Рис. 5. Комплексный балл оценки потенциала пространственных предложений в регионах России в 2019 г. [Регионы России. Социально-экономические показатели. 2020: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2020. 1242 с.]

Fig. 5. Comprehensive score for assessing the potential of spatial proposals in the regions of Russia in 2019

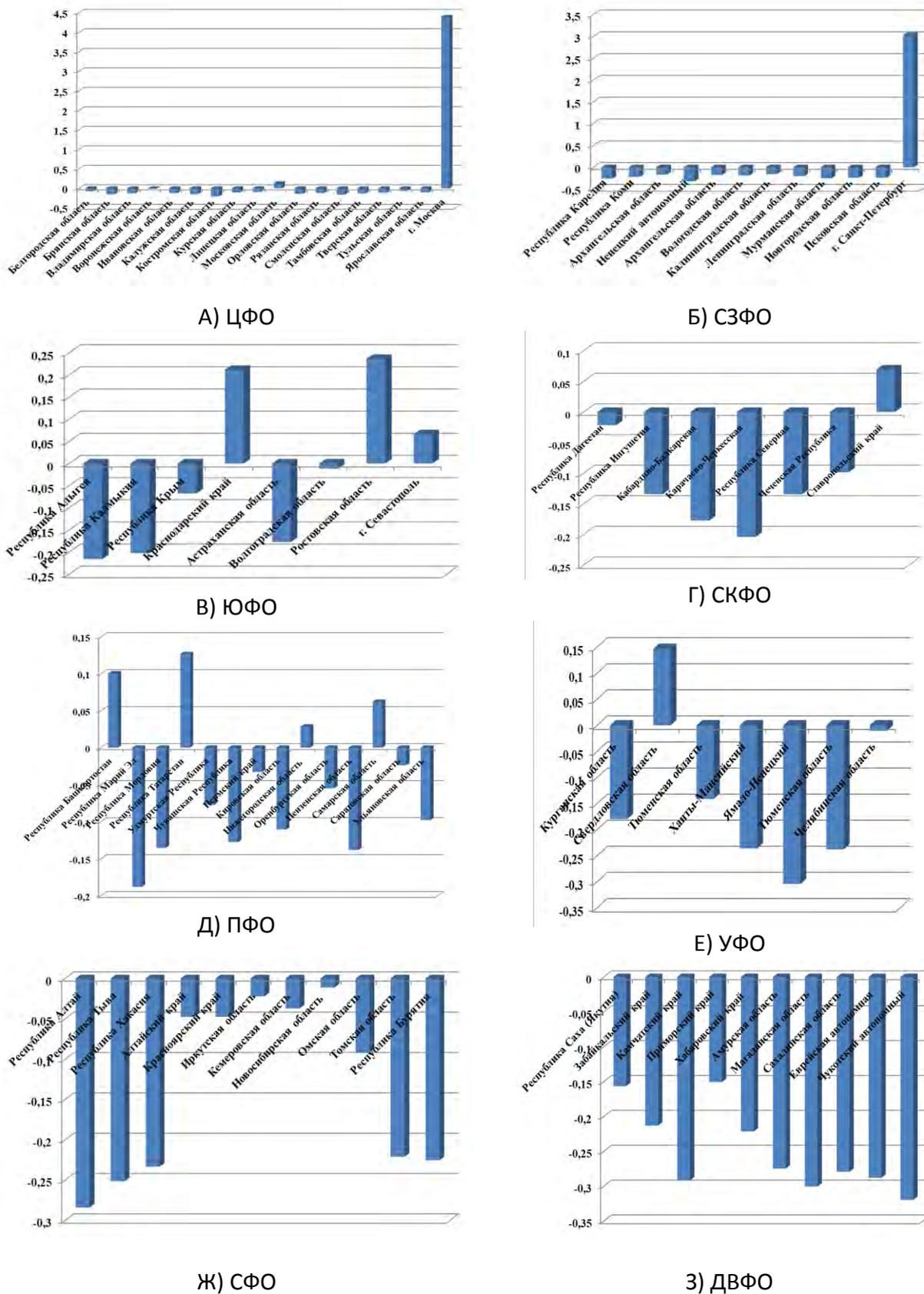


Рис. 6. Комплексный балл оценки интенсивности спроса на развитие в регионах России в 2019 г. [Регионы России. Социально-экономические показатели. 2020: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2020. 1242 с.]

Fig. 6. Comprehensive score for assessing the intensity of demand for development in the regions of Russia in 2019

Как демонстрирует рисунок 6, интенсивность спроса на развитие широко дифференцирована, по результатам проведенных расчетов высокий уровень определен для Москвы и Санкт-Петербурга, оставшиеся регионы имеют низкий уровень данного показателя, что способствует росту пространственного дисбаланса и низкому уровню качества жизни.

Полученные расчетным путем значения потенциала пространственных предложений и интенсивности спроса на развитие в регионах РФ позволили определить вид пространственного равновесия в регионах РФ (рис. 7).

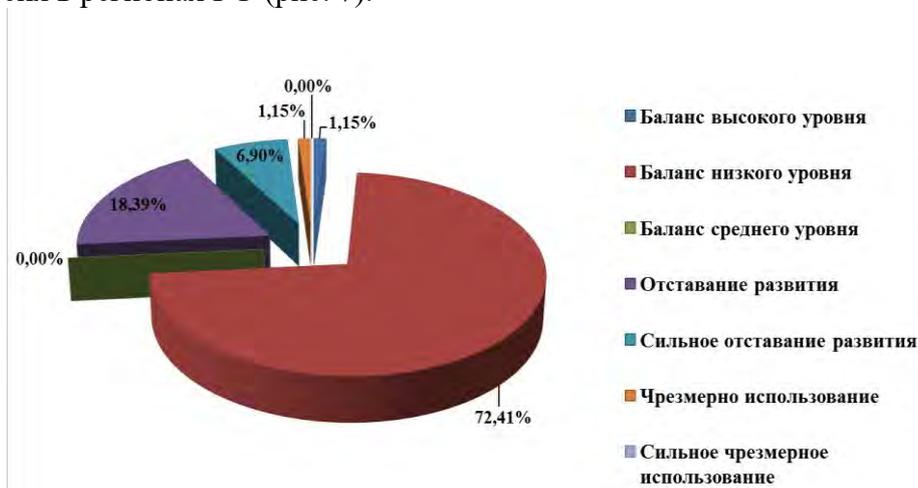


Рис. 7. Пространственный баланс регионального развития России в 2019 г.

Fig. 7. Spatial balance of regional development of Russia in 2019

Баланс высокого уровня (1,15 %) присутствует только в одном субъекте – городе Москве. Чрезмерное использование потенциала (1,15 %) наблюдается в Санкт-Петербурге. Сильное отставание в развитии (6,9 %) характерно для следующих регионов: Московская область, Ненецкий автономный округ, Краснодарский край, Ханта-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа. Отстают в развитии 18,39 % регионов РФ (Липецкая область, Ленинградская область, Республика Адыгея, Калмыкия, Крым, Ростовская область, Ставропольский край, республика Башкортостан, республика Татарстан, Пермский край, Самарская и Свердловские области, Алтайский, Красноярский и Забайкальские края, Чукотский автономный округ. Для оставшихся 72,41 % регионов России наблюдается баланс низкого уровня.

Интерпретация полученных результатов исследования

Оценка потенциала пространственных предложений показала логичный результат: максимальным потенциалом обладают Москва, Московская область, так как на их территории сконцентрированы промышленные, финансовые, трудовые и научные ресурсы. Закономерно, что высокие значения получены для регионов-нефтяников (Ненецкий, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа). Большая часть регионов РФ имеет низкий потенциал пространственных предложений, что оказывает негативное влияние на экономический рост, инвестиционную привлекательность территорий и качество жизни населения.

Высокий уровень неравенства выявлен касательно спроса на развитие в регионах России, что оказывает значимое воздействие на качество жизни населения и производительность труда, определяя тенденции экономического развития территорий. Низкий уровень пространственного баланса регионального развития России является следствием доминирования факторов первой природы (географическое положение, природные ресурсы) в обеспечении потенциала пространственных предложений. С институциональной точки зрения пространственный дисбаланс в России является продуктом региональной сегментации.

Для достижения пространственного баланса в региональном развитии требуется базовая институциональная поддержка, включающая систему регионального сотрудничества.



Заключение

Данное исследование направлено на измерение сбалансированного состояния регионального развития России с точки зрения соответствия потенциала пространственных предположений и интенсивности спроса на развитие. Большая доля субъектов РФ находится в состоянии низкого уровня сбалансированности. Высокого уровня сбалансированность достиг один город федерального значения – Москва. Полученные результаты доказали, что тенденции регионального развития последних десятилетий привели к пространственному дисбалансу: интенсивный экономический рост одних территорий (Москва, Московская область) и стремительное ухудшение качества жизни на других территориях.

Разработанный и апробированный методический подход оценки пространственного равновесия в регионах России позволит исследовать пространственно-временные модели баланса, изучить эффективность политики в отношении снижения регионального неравенства. Авторское исследование имеет практическую значимость для органов власти в части подготовки региональных стратегий и программ социально-экономического развития, ориентированных на повышение качества жизни населения.

Список источников

- Регионы России. Социально-экономические показатели. 2020: Р32 Стат. сб. / Росстат. – М., 2020. – 1242 с.
- Температура воздуха и осадки по месяцам и годам: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php> (дата обращения 01.07.2021г.)

Список литературы

- Александров И.Г. 1928. Производственное районирование и его методология. Плановое хозяйство, 4: 46–58.
- Андреев В.В., Лукиянова В.Ю., Кадышев Е.Н. 2017. Анализ территориального распределения населения в субъектах Приволжского федерального округа с применением закона Ципфа и Гибрата. Прикладная эконометрика, 48: 97–121.
- Анимица Е. Г., Анимица П. Е., Денисова О. Ю. 2014. Эволюция научных взглядов на теорию размещения производительных сил. Экономика региона, 2: 21–32.
- Балаш О.С. 2013. Моделирование темпов роста численности населения городов России: пространственный аспект. Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО, 6: 142–146.
- Дворядкина Е.Б., Белоусова Е.А. 2020. Тенденции развития муниципальных районов в национальном экономическом пространстве, Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз, 13 (1): С. 87–105.
- Ибрагимова З.Ф., Франц М.В. 2020. Неравенство возможностей: роль пространственного фактора. Пространственная экономика, 16(4): 44–67. doi.org/10.14530/se.2020.4.044-067.
- Коломак Е.А. 2018. Городская система современной России. Новосибирск: Издательство ИЭОПП СО РАН, 144 с.
- Колосовский Н.Н. 1969. Теория экономического районирования. М.: Мысль, 1969. 335 с.
- Макарова М.Н. 2021. Моделирование социально-демографической асимметрии территориального развития. Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 14 (2): 29–42. DOI: 10.15838/esc.2021.2.74.2
- Некрасов Н.Н. 1979. Региональная экономика: теория, проблемы, методы. 2 изд. М.: Экономика, 340 с.
- Фейгин Я.Г. 1969. Ленин и социалистическое размещение производительных сил. М.: Наука, 115 с.
- Jin R., Gong J.Y., Deng M., Wan Y.L., Yang X.Y. 2018. A framework for spatiotemporal analysis of regional economic agglomeration patterns. Sustainability, Электронный ресурс: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/8/2800/> (Дата обращения 15.06.2021г.).
- Combes P., Lafourcade M., Thisse J.F., Toutain J.C. 2011. The rise and fall of spatial inequalities in France: A long-run perspective. Explor. Econ. Hist., 48: pp. 243–271.
- Badia-Miro M., Guilera J., Lains P. 2012. Regional incomes in Portugal: Industrialization, integration and inequality, 1890–1980., Economy, 30: 225–244.

- Geary F., Stark, T. 2016. What happened to regional inequality in Britain in the twentieth century? *The Economic History Review*, 69: 215–228.
- Kim S. 1998. Economic integration and convergence: US regions, 1840–1987. *The Journal of Economic History*, 58: 659–683.
- Felice E. 2011. Regional value added in Italy (1891–2001) and the foundation of a long-term picture. *The Economic History Review*, 64: 929–950.
- Cuadrado-Roura J., Aroca P. 2013 *Regional Problems and Policies in Latin America*. Springer, 569 p.
- Bluszcz A., Kijewska A. 2015. Challenges of sustainable development in the mining and metallurgy sector in Poland. *Metalurgija*, 54: 441–444.
- Fan J., Li P.X. 2009. The scientific foundation of Major Function Oriented Zoning in China. *Journal of Geographical Sciences*, 19: 515–531.
- Lu D.D., Fan J. 2010. *Regional Development Research in China: A Roadmap to 2050*. Springer, 192 p.
- Zhuo Z., Chen W., Sun W. 2008. Study on framework of productive forces based on the theory of spatial balance – With Wuxi as a case, *Areal Research and Development*, 27 (1): 19–27.
- Hube M., Owen A. Cinderby S. 2007. Reconciling socio-economic and environmental data in a GIS context: An example from rural England. *Applied Geography*, 27: 1–13.
- Ogneva-Himmelberger Y., Pearsall H., Rakshit R. 2009. Concrete evidence & geographically weighted regression: A regional analysis of wealth and the land cover in Massachusetts. *Applied Geography*, 29: 478–487.
- Zhang Y.Z., Zhang J.L., Chen Y., Ren J.L. 2016. Study on the meaning of space balance and condition assessment from the perspective of supply and demand driven: A case of Shandong Province. *Social Sciences*, 30: 54–58.
- Shen H., Teng F., Song J. 2018. Evaluation of Spatial Balance of China's Regional Development. *Sustainability*, Электронный ресурс: <https://doi.org/10.3390/su10093314> (Дата обращения 15.06.2021г.).

References

- Aleksandrov I.G. Proizvodstvennoe rajonirovanie i ego metodologiya. Planovoe hozyajstvo. [Industrial zoning and its methodology. Planned economy] 1928. № 4. С. 46–58.
- Andreev V.V., Lukiyanova V.YU., Kadyshev E.N. 2017. Analiz territorial'nogo raspredeleniya naseleniya v sub"ektah Privolzhskogo federal'nogo okruga s primeneniem zakona Cipfa i Gibrata. [Analysis of the territorial distribution of the population in the subjects of the Volga Federal District using the law of Zipf and Gibrat] *Prikladnaya ekonometrika*, 48: 97–121.
- Animica E.G., Animica P.E., Denisova O.YU. 2014. Evolyuciya nauchnyh vzglyadov na teoriyu razmeshcheniya proizvoditel'nyh sil. [Evolution of scientific views on the theory of the distribution of productive forces] *Ekonomika regiona*, 2: 21–32.
- Balash O.S. 2013. Modelirovanie tempov rosta chislennosti naseleniya gorodov Rossii: prostranstvennyj aspekt. [Modeling the growth rate of the population of Russian cities: a spatial aspect] *Ekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO*, 6: 142–146.
- Dvoryadkina E.B., Belousova E.A. 2020. Tendencii razvitiya municipal'nyh rajonov v nacional'nom ekonomicheskom prostranstve. [Trends in the development of municipal districts in the national economic space] *Ekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz*, 13 (1): S. 87–105.
- Ibragimova Z.F., Franc M.V. 2020. Neravenstvo vozmozhnostej: rol' prostranstvennogo faktora. [Inequality of opportunity: the role of the spatial factor] *Prostranstvennaya ekonomika*, 16(4): 44–67. doi.org/10.14530/se.2020.4.044-067.
- Kolomak E.A. 2018. *Gorodskaya sistema sovremennoj Rossii*. [The urban system of modern Russia.] Novosibirsk: Izdatel'-stvo IEOPP SO RAN, 144 s.
- Kolosovskij N.N. 1969. *Teoriya ekonomicheskogo rajonirovanii*. [Economic regionalization theory] M.: Mysl', 1969. 335 s.
- Makarova M.N. 2021. Modelirovanie social'no-demograficheskoy asimmetrii territorial'nogo razvitiya. [Modeling the socio-demographic asymmetry of territorial development.] *Ekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, pro-gnoz*. 14 (2): 29–42. DOI: 10.15838/esc.2021.2.74.2.
- Nekrasov N.N. 1979. *Regional'naya ekonomika: teoriya, problemy, metody*. 2 izd. [Regional economy: theory, problems, methods] M.: Ekonomika, 340 s.
- Fejgin YA.G. 1969. *Lenin i socialisticheskoe razmeshchenie proizvoditel'nyh sil*. [Lenin and the socialist



- distribution of the productive forces] М.: Nauka, 115 s.
- Jin R., Gong J.Y., Deng M., Wan Y.L., Yang X.Y. A framework for spatiotemporal analysis of regional economic agglomeration patterns. *Sustainability*, 2018. Электронный ресурс: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/8/2800/>
- Combes P., Lafourcade M., Thisse J.F., Toutain J.C. 2011. The rise and fall of spatial inequalities in France: A long-run perspective. *Explor. Econ. Hist.*, 48: pp. 243–271.
- Badia-Miro M., Guilera J., Lains P. 2012. Regional incomes in Portugal: Industrialization, integration and inequality, 1890–1980., *Economy*, 30: 225–244.
- Gearry F., Stark, T. 2016. What happened to regional inequality in Britain in the twentieth century? *The Economic History Review*, 69: 215–228.
- Kim S. 1998. Economic integration and convergence: US regions, 1840–1987. *The Journal of Economic History*, 58: 659–683.
- Felice E. 2011. Regional value added in Italy (1891–2001) and the foundation of a long-term picture. *The Economic History Review*, 64: 929–950.
- Cuadrado-Roura J., Aroca P. 2013 *Regional Problems and Policies in Latin America*. Springer, 569 p.
- Bluszcz A., Kijewska A. 2015. Challenges of sustainable development in the mining and metallurgy sector in Poland. *Metalurgija*, 54: 441–444.
- Fan J., Li P.X. 2009. The scientific foundation of Major Function Oriented Zoning in China. *Journal of Geographical Sciences*, 19: 515–531.
- Lu D.D., Fan J. 2010. *Regional Development Research in China: A Roadmap to 2050*. Springer, 192 p.
- Zhuo Z., Chen W., Sun W. 2008. Study on framework of productive forces based on the theory of spatial balance – With Wuxi as a case, *Areal Research and Development*, 27 (1): 19–27.
- Hube M., Owen A., Cinderby S. 2007. Reconciling socio-economic and environmental data in a GIS context: An example from rural England. *Applied Geography*, 27: 1–13.
- Ogneva-Himmelberger Y., Pearsall H., Rakshit R. 2009. Concrete evidence & geographically weighted regression: A regional analysis of wealth and the land cover in Massachusetts. *Applied Geography*, 29: 478–487.
- Zhang Y.Z., Zhang J.L., Chen Y., Ren J.L. 2016. Study on the meaning of space balance and condition assessment from the perspective of supply and demand driven: A case of Shandong Province. *Social Sciences*, 30: 54–58.
- Shen H., Teng F., Song J. 2018. Evaluation of Spatial Balance of China's Regional Development. *Sustainability*, Электронный ресурс: <https://doi.org/10.3390/su10093314>

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Манаева Инна Владимировна, доктор экономических наук, доцент кафедры мировой экономики, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Inna V. Manaeva, Doctor of Economics, Associate Professor of the Department of World Economy, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 332.1,332.05

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-31-43

Модернизация промышленного комплекса в контексте развития экономики региона (на примере Волгоградской области): современное состояние и перспективы развития

Морозова И.А., Кузьмина Е.В., Шевченко С.А.
Волгоградский государственный технический университет,
Россия, 400005, г. Волгоград, ул. Ленина, 75
E-mail: katerina993@yandex.ru

Аннотация. Важную роль в региональном развитии занимает производственный комплекс и инновационные технологии. Однако в промышленном комплексе существуют проблемы, которые связаны с разработкой и внедрением инноваций и технической обеспеченностью, что крайне негативно влияет на экономические, финансовые и социальные показатели функционирования производственных предприятий. Сложившаяся ситуация является существенным препятствием для дальнейшего развития производственного сектора, а, следовательно, и Волгоградской области. Несмотря на значительное число научных публикаций по тематике регионального развития и проблемам модернизации промышленного комплекса, влияние эффективно функционирующего производственного сектора на развитие субъектов РФ недостаточно изучено, что и определило направление дальнейшего исследования. Целью данного исследования является рассмотрение вопросов влияния модернизации промышленного комплекса на развитие экономики региона, проведение оценки состояния и выявление тенденций развития производственного сектора Волгоградской области. В статье авторами анализируется структура промышленности региона, рассматриваются экономические и финансовые показатели по отраслям и секторам производства за исследуемый период деятельности территории, составляются по индексам промышленности и инновационной активности прогнозные значения на несколько периодов в перспективе, изучается состояние инновационного и научного потенциала. По результатам проведенного анализа выявляются проблемы, определяются точки развития производства и вносятся ряд предложений по повышению показателей функционирования регионального промышленного комплекса. Результаты исследования показывают, что в сложившихся условиях безальтернативным вариантом осуществления модернизации промышленного комплекса является интегрированное взаимодействие производственной материальной базы и инновационных научных центров.

Ключевые слова: промышленный комплекс, производственный потенциал, производственная материальная база, региональное развитие, конкурентоспособная продукция, инновации, коммерциализация инноваций

Благодарности: работа выполнена в рамках проекта РФФИ, проект № 20-010-00072 «Формирование креативных центров пространственного развития как механизм повышения качества жизни населения сельских территорий».

Для цитирования: Морозова И.А., Кузьмина Е.В., Шевченко С.А. 2022. Модернизация промышленного комплекса в контексте развития экономики региона (на примере Волгоградской области): современное состояние и перспективы развития. Экономика. Информатика. 49(1): 31–43. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-31-43

Modernization of the industrial complex in the context of regional economic development (on the example of the Volgograd region): current state and development prospects

Irina A. Morozova, Ekaterina V. Kuzmina, Svetlana A. Shevchenko
Volgograd State Technical University,
75 Lenin St, Volgograd, 400005, Russia
E-mail: katerina993@yandex.ru

Abstract. The industrial complex and innovative technologies play an important role in regional development. However, there are problems in the industrial complex that are associated with the



development and implementation of innovations and technical security, which has an extremely negative impact on the economic, financial and social indicators of the functioning of manufacturing enterprises. The current situation is a significant obstacle to the further development of the manufacturing sector, and, consequently, the Volgograd region. Despite a significant number of scientific publications on the subject of regional development and the problems of modernization of the industrial complex, the impact of an effectively functioning manufacturing sector on the development of the subjects of the Russian Federation has not been sufficiently studied, which determined the direction of further research. The purpose of this study is to consider the impact of the modernization of the industrial complex on the development of the region's economy, to assess the state and identify trends in the development of the production sector of the Volga-Gradskaia region. In the article, the authors analyze the structure of the region's industry, consider economic and financial indicators by industries and sectors of production for the period of activity of the territory under study, forecast values for several periods in the future are compiled according to the indices of industry and innovation activity, the state of innovation and scientific potential is studied. Based on the results of the analysis, problems are identified, production development points are determined and a number of proposals are made to improve the performance of the regional industrial complex. The results of the study show that in the current conditions, the integrated interaction of the production material base and innovative research centers is an alternative option for the modernization of the industrial complex.

Keywords: industrial complex, production potential, production material base, regional development, competitive products, innovations, commercialization of innovations

Acknowledgements the work was carried out with the financial support of The Russian Foundation for Basic Research, project No. 20-010-00072 "Formation of creative centers for spatial development as a mechanism for improving the quality of life of the population of rural areas".

For citation: Morozova I.A., Kuzmina E.V., Shevchenko S.A. 2022. Modernization of the industrial complex in the context of regional economic development (on the example of the Volgograd region): current state and development prospects. Economics. Information technologies. 49(1): 31–43 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-31-43

Введение

В современных экономических условиях основными драйверами регионального развития выступают производственный комплекс и инновационные технологии. Повысить эффективность деятельности производственного комплекса возможно посредством внедрения концепции «Индустрия 4.0», предусматривающей модернизацию промышленности. Индустриализация и модернизация производственного комплекса способствуют сохранению экономической независимости и достижению конкурентных преимуществ не только отдельного взятого региона, но и страны в целом.

Промышленный комплекс служит основой функционирования региона и обеспечивает формирование валового регионального продукта. Он предоставляет научную, технологическую и материальную базу для инвестиционных и инновационных процессов. Динамика роста научно-технических и социально-экономических показателей находится в прямой зависимости от уровня модернизации промышленного комплекса. Промышленный комплекс Волгоградской области представляет собой систему объединенных производственных предприятий, состоящую из отраслей, подотраслей и специфических сфер деятельности и использующую материальные, технологические и инфраструктурные ресурсы территории. Следовательно, экономическое, финансовое и инвестиционное развитие региона находится в прямой зависимости от деятельности промышленного комплекса региона.

Вопросы научно-технологического и инновационного развития промышленного комплекса в Волгоградской области являются актуальными и недостаточно проработанными. В связи с этим особый интерес представляют следующие направления, исследованные в данной работе: анализ состояния производственного комплекса Волгоградской области, направления и тенденции развития промышленности региона, а также инновационной деятельности, способствующей технологической модернизации производственных предприятий.

Основные результаты исследования

Процессы трансформации экономики меняют факторы и принципы организации национальной системы страны, а происходящие преобразования существенно обостряют проблему устойчивого развития регионов. В федеральных нормативных актах в качестве одной из ключевых задач указывается обеспечение устойчивого развития экономики регионов [Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года]. Современные тенденции переориентации на импортозамещение, осуществление структурных преобразований, активная политика органов власти всех уровней, направленная на институциональные и законодательные преобразования, обуславливают несомненную значимость развития промышленного комплекса. Промышленный комплекс является базисом всех экономических процессов, влияющих на развитие региона [Татаркин, 2015]. В настоящее время промышленный сектор формирует значительную долю валового регионального продукта, создает рабочие места, служит одним из источников налоговых поступлений, является площадкой для создания и внедрения инноваций в технологические процессы.

Промышленность Волгоградской области является крупным межотраслевым комплексом, который включает в себя высокий удельный вес обрабатывающих производств. Широкий диапазон отраслей и сфер деятельности обрабатывающей и добывающей промышленности позволяет занимать лидирующие позиции в ЮФО, формируя статус индустриального региона. Предприятия производственного комплекса Волгоградской области выпускают уникальные товары не только в южном федеральном округе, но и в стране. Область является производителем такой продукции, как каустическая сода, углерод технический, стальные трубы, легированная сталь, подшипники, кордовая ткань. Удельный вес промышленной продукции Волгоградской области в структуре производимой продукции в ЮФО составляет 25 % и 1,2 % в России. Очевидно, регион располагает экономическими и материальными ресурсами, кадровым и научным потенциалом, имеет выгодное географическое положение и транспортно-узловую развязку, что определяет его стратегически важное значение.

Промышленное производство в первую очередь характеризуется таким показателем, как объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и оказанных услуг [Филобокова, Вдовиченко, 2017]. Проведенный анализ таблицы 1 позволяет сделать вывод, что в регионе успешно осуществляют деятельность отрасли производства, демонстрирующие эффективность в промышленной сфере. В период с 2015 по 2019 гг. промышленное производство в Волгоградской области развивается.

Объем отгруженных товаров и оказанных услуг снизился с 1017916 млн руб. в 2018 г. до 990370 млн руб. Тем не менее за период 2015–2019 гг. объем промышленной деятельности Волгоградской области увеличился на 242979 млн руб. или на 33 % до 990370 млн руб. За этот период добыча полезных ископаемых увеличилась на 26 % с 48094 млн руб. в 2015 г. до 60508 млн руб. в 2019 г.

Динамику увеличения отражает не только стоимостной показатель, но и объем произведенной промышленной продукции в натуральных единицах изменения [Лапаев, 2015; Портер, 2006]. Повышение показателей промышленного производства в Волгоградской области по итогам 2019 года составило 101 %, в том числе в обрабатывающих производствах – 102,7 %. Темп роста произведенной продукции обрабатывающих предприятий по сравнению с 2018 годом увеличился на 1,5 %. Положительная динамика роста обеспечивается производством химических веществ на 8,2 %, металлургическим производством – на 13,7 %, неметаллической минеральной продукцией – на 6,7 %.

Промышленный комплекс Волгоградской области включает такие отрасли производства, как добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства и производство электроэнергии, газа и воды [Татаркин, 2015]. Особая роль отводится обрабатывающим производствам, удельный вес которых в структуре деятельности промышленного комплекса составил в 2015 году 84,8 %, а к 2019 году увеличился до 87,1 %. На втором месте – производство электроэнергии, газа и воды (7 % в 2019 г.), на третьем месте – добыча полезных ископаемых (5,9 % в 2019 г.).



Таблица 1
 Table 1

Динамика показателей промышленного производства
 Волгоградской области в 2015–2019 гг., млн руб.
 Dynamics of industrial performance indicators
 Volgograd region in 2015–2019, million rubles

Сектора промышленности	Годы					Отклоне- ние, % 2019/2015
	2015	2016	2017	2018	2019	
Обрабатывающие производства	633926	615926	724306	882563	856252	135
Производство и распределение электроэнергетики, газа, воды	65371	63364	66847	71872	73610	113
Добыча полезных ископаемых	48094	45487	47985	63481	60508	126
Итого объем отгруженных товаров и оказанных услуг	747391	724777	839138	1017916	990370	133

Источник: составлено авторами по данным Волгоградстата [1]

Произошли существенные изменения в структуре промышленности в пользу обрабатывающих производств, темп прироста за период 2015–2019 гг. составил 43 %. Доля обрабатывающих производств увеличилась с 85 % до 87 % (рис. 1).

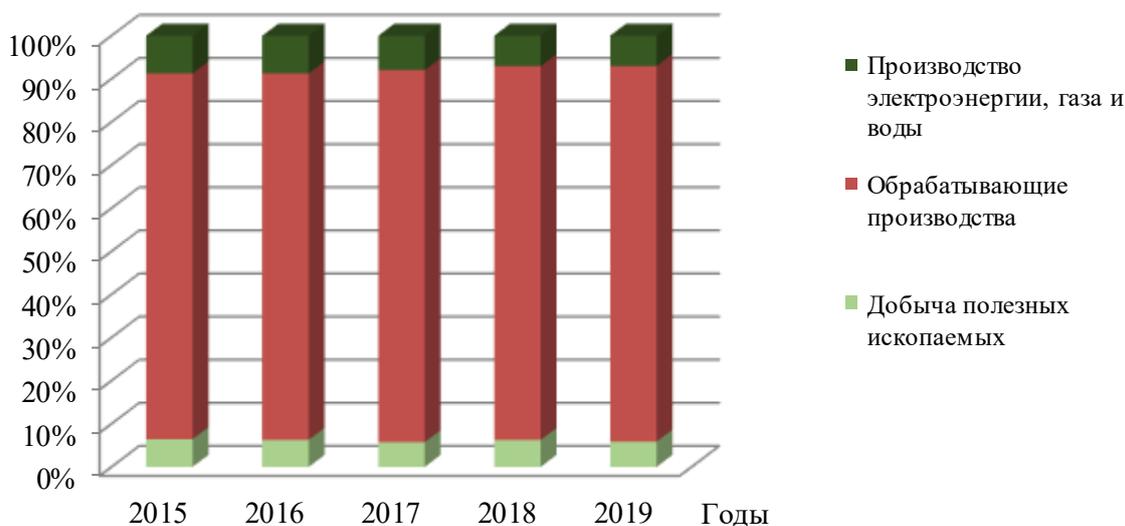


Рис. 1. Структура деятельности промышленного комплекса Волгоградской области за период 2015–2019 гг.

Fig. 1. Structure of industrial complex activity Volgograd region for the period 2015–2019

Обрабатывающие производства региона включают такие виды, как: металлургический комплекс, химический комплекс, производство неметаллической минеральной продукции, машиностроение, пищевая промышленность. Значительный удельный вес более 80 % в общей структуре обрабатывающих производств занимают нефтепереработка, химическая промышленность и металлургия. В 2019 году относительно 2017 года Волгоградская область сохранила положительный прирост промышленного производства. В регионе увеличился выпуск продукции по следующим обрабатывающим видам деятельности: производство кокса и нефтепродуктов, металлургическое производство, производство машин и оборудования, производство химических веществ и химических продуктов (рис. 2).

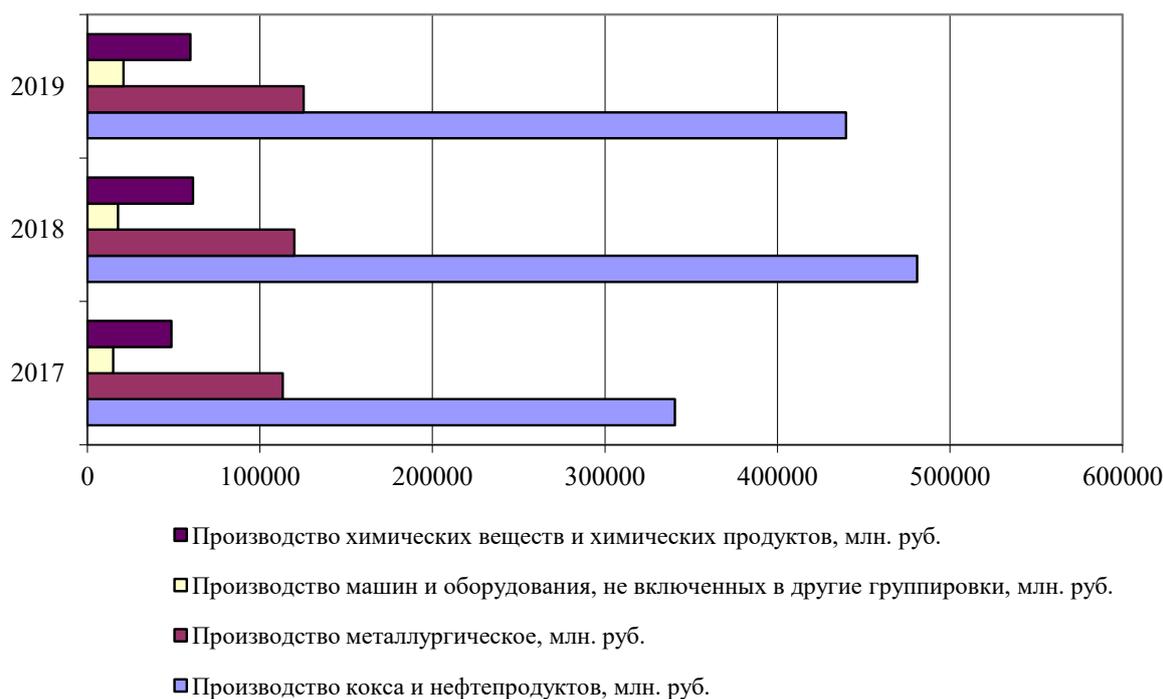


Рис. 2. Динамика промышленного производства по отраслям деятельности
 Fig. 2. Dynamics of industrial production by branches of activity

На рис. 3 составлен график индексов промышленного производства в период с 2011 года по 2019 год, а также представлены прогнозные значения перспективного развития на период с 2020 года по 2021 год.

По приведенным данным можно сделать вывод, что индекс промышленного роста достигает наибольшего значения в 2012 году, после чего происходит снижение показателя до 101,1 % в 2015 году. Региональные программы по импортозамещению и модернизации промышленного комплекса повлияли на развитие промышленности и индекс повысился до 103,9 % в 2016 году. Однако введенные санкции и ухудшение экономической ситуации в стране повлияли на предприятия региона не лучшим образом и показатель индекса промышленного производства снизился до 100,9 % в 2018 году. Учитывая, что промышленное производство остро реагирует на дестабилизацию курса валют, высокий темп инфляции, влекущие удорожание сырьевых и топливно-энергетических ресурсов, стоимость и качество произведенной продукции перестанут быть конкурентоспособными, и как следствие, спрос на товары может резко снизиться [Морозова, Шевченко, Кузьмина, 2020]. Поэтому построенная линия тренда на прогнозный период 2020 г. и 2021 г. отражает дальнейшее снижение индекса промышленного производства. Таким образом, в сложившихся обстоятельствах, если не будут разработаны и реализованы мероприятия, направленные на поддержку и развитие промышленного комплекса, производственно-экономические показатели региона будут существенно снижаться, увеличивая зависимость от импорта.

Существенными макроэкономическими показателями, которые отражают экономическое положение в регионе, являются валовый региональный продукт и валовый региональный продукт в расчете на душу населения [Рыжая, Ерыгина, 2016].

За период 2014–2018 гг. валовый региональный продукт увеличился с 715410 млн руб. до 852029 млн руб., т. е. темп прироста за анализируемый период составил 19 % (табл. 2). Динамика валового регионального продукта в расчете на душу населения положительная, поскольку прирост этого показателя увеличился к 2018 году на 21 % и составил 338861 руб.

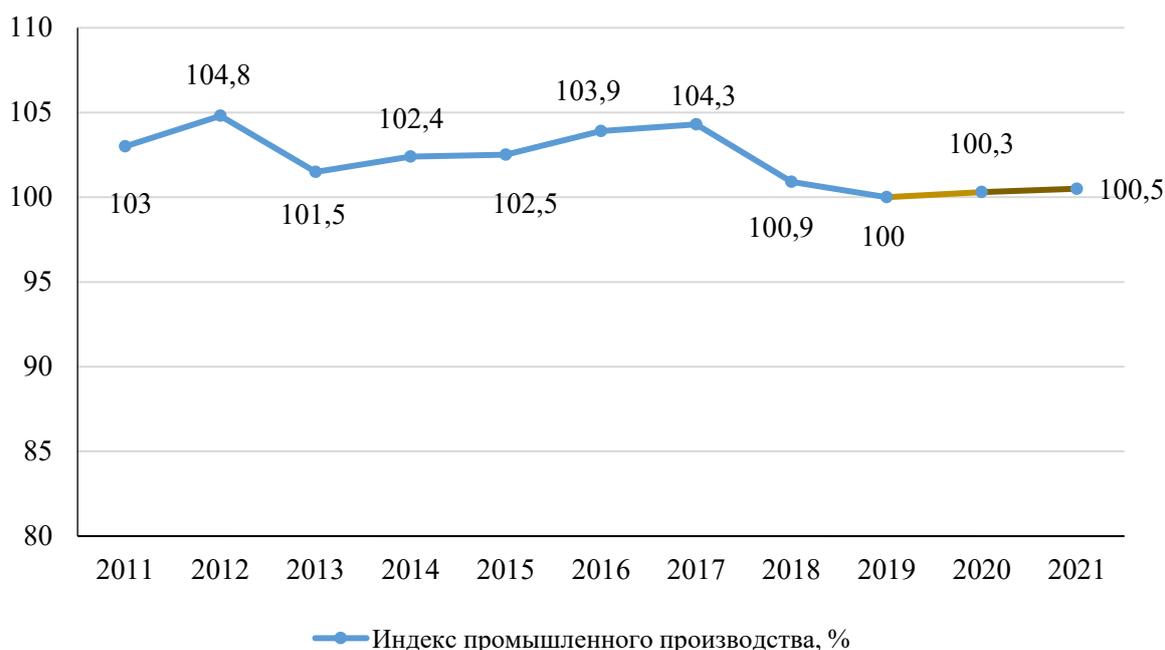


Рис. 3. Индекс промышленного производства Волгоградской области за 2011–2021 гг.
 Fig. 3. Industrial production Index of the Volgograd region for 2011–2021

Таблица 2
 Table 2

Валовой региональный продукт Волгоградской области
 Gross regional product of the Volgograd region

Наименование показателя	2014	2015	2016	2017	2018	Отклонение, % 2018/2014
Валовой региональный продукт, млн руб.	715410	740458	746795	772624	852029	119
Валовой региональный продукт в расчете на душу населения, руб.	279101	290186	293948	305598	338861	121

Источник: составлено авторами по данным Волгоградстата [Волгоградская область в цифрах, 2020]

За пять лет показатели ВРП и ВРП на душу населения Волгоградской области увеличились на 19 % и 21 % соответственно. Основой промышленного комплекса Волгоградской области стали предприятия: ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка», «РУСАЛ Волгоград», АО «Волжский трубный завод», ОАО «Волжский абразивный завод», АО «Каустик», АО «Волжский Оргсинтез», АО «Волтайр-Пром», ОАО «Себряковский комбинат асбестоцементный изделий», АО «Трубный завод «Профиль-Акрас» им. В.В. Макарова», Волгоградский филиал ООО «Омсктехуглерод», ООО «ТД «ГраСС» и другие. Доля в доходной части области составляет порядка 85 %. [О стратегии социально-экономического развития Волгоградской области до 2030 года].

Волгоградская область обладает высоким научным, образовательным, кадровым и инновационным потенциалом. В регионе функционирует Волгоградский областной бизнес-инкубатор, информационно-аналитический центр коллективного пользования на базе ВолГУ, Волгоградский центр трансфера технологий, Волгоградское инновационное агентство ВолГУ, агентство инвестиций и развития Волгоградской области, Волгоградский центр научно-

технической информации, а также ведущий ВУЗ ВолгГТУ (опорный университет) [Kuzmina, Avdeyuk, Kuzmina, Tarasova, Rayushkina, 2020].

При динамичном росте производства продукция промышленного комплекса Волгоградской области пользуется спросом и за пределами территории РФ. Однако анализ объема и товарной структуры экспорта показывает неблагоприятную динамику. Размер экспортируемой продукции снизился с 4276 млн долл. в 2014 году до 1933,2 млн долл. в 2018 году, т. е. отрицательная динамика составила 2342 тыс. долл. (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Товарная структура экспорта Волгоградской области за период 2015–2019 гг., млн долл.
Commodity structure of exports of the Volgograd region
for the period 2015–2019, millions dollars

Наименование показателя	2015	2016	2017	2018	2019	Отклонение, млн долл. 2019/2015
Минеральные продукты	957	507	522	580	340	-617
Металлы и изделия	466	352	442	752	623	157
Продукция химической промышленности, каучук	282	257	339	392	361	79
Продовольственные товары и сельскохозяйственное сырье	273	138	177	138	162	111
Машины, оборудование и транспортные средства	29	22	28	33	34	5
Текстиль, текстильные изделия и обувь	7	5	5	2	4	-3
Древесина и целлюлозно-бумажные изделия	8	4	6	7	5	-3
Другие товары	30	30	33	29	35	5
Итого экспорт	2052	1315	1552	1933	1559	-498

Источник: составлено авторами по данным Волгоградстата [Федеральная служба государственной статистики по Российской Федерации]

Сложившаяся структура промышленного комплекса и экспорта Волгоградской области определяется техническим состоянием основных фондов. По приведенным данным отметим, что в промышленном комплексе Волгоградской области наблюдаются проблемы с техническим состоянием основных производственных фондов, что отрицательно влияет на объем и качество производимой продукции.

На протяжении анализируемого периода с 2015 г. по 2019 г. степень износа основных производственных фондов меняется незначительно. По итогам 2019 года степень износа составила 53,3 %.

На рис. 4 отражена динамика степени износа основных фондов в Волгоградской области. Степень износа основных производственных фондов в 2018 году составляет 55,8 %, т. е. на 2,5 % меньше по сравнению с показателем 2019 г. Максимальные уровни показателя износа отмечаются в добывающих и обрабатывающих отраслях. Приведенные данные свидетельствуют об отсутствии обновления технической базы и воспроизводства основных средств предприятий, что негативно влияет на объем и качество производимой продукции. Динамика показателя степени износа основных фондов в обрабатывающих отраслях региона имеет незначительную тенденцию к увеличению с 50,3 % в 2015 году до 57,2 % в 2019 году. Несколько больший прирост коэффициента наблюдается на предприятиях по добыче полез-

ных ископаемых с 53,5 % до 63,2 %. Но несмотря на эту положительную динамику, износ основных фондов промышленного комплекса в целом снижается.

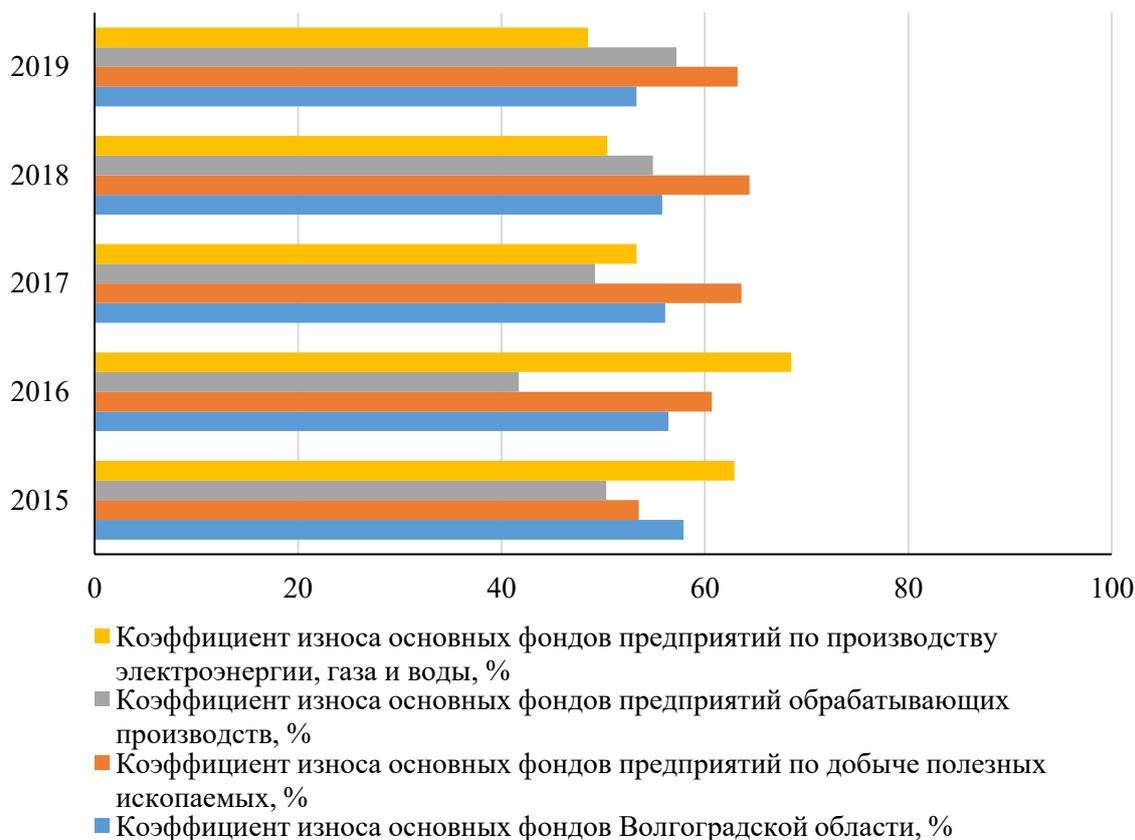


Рис. 4. Динамика степени износа основных фондов промышленного комплекса Волгоградской области за 2015–2019 гг.

Fig. 4. Dynamics of depreciation of fixed assets of the industrial complex of the Volgograd region for 2015–2019

Достаточно высокая степень износа основных фондов связана с тем, что интенсивное формирование и оснащение предприятий промышленности Волгоградской области происходило в 1960 гг. Данные свидетельствуют о том, что в структуре имеющихся основных средств организаций производственного комплекса преобладает значительная доля морально и физически устаревшего оборудования. Производимая продукция не соответствует высоким стандартам качества, а значит, не востребована в РФ и в других странах [Сурнина, Шишкина, 2013]. Эти обстоятельства прямо влияют на снижение спроса и невысокие рейтинговые позиции товаров предприятий Волгоградской области не только в стране, но и за рубежом.

Таким образом, увеличение спроса в РФ и повышение экспорта произведенной продукции находится в прямой зависимости от модернизации оборудования и внедрения инноваций в производственный процесс предприятий промышленного комплекса Волгоградской области. Низкая активность предприятий в сфере инновационного развития, крайне низкие темпы совершенствования технологий, снижение качества продукции, отсутствие научного подхода влияют на уменьшение конкурентных преимуществ организаций производственного комплекса [Морозова, Шевченко, Кузьмина, 2020].

В табл. 4 представлены основные показатели инновационного развития Волгоградской области: количество организаций, выполнявших исследования и разработки, инновационная активность предприятий, удельный вес инновационных товаров, работ, услуг и удельный вес предприятий, осуществляющих технологические инновации.

Таблица 4
 Table 4

Показатели финансирования инновационного развития Волгоградской области
 Indicators of financing innovative development of the Volgograd region

Наименование показателя	2014	2015	2016	2017	2018	Абс. от- клоне- ние 2018/2014
Количество предприятий, которые выполняют научные исследования, ед.	47	53	46	44	43	-4
Расходы на проведение технологических разработок и научных исследований, млн руб.	14994,9	4025,9	4028,6	3917,9	3998,6	-10996,3
Финансирование научных разработок из бюджетных средств, млн руб.	4738	1743	1449	1288,8	1056	-3682
Финансирование научных разработок из федерального бюджета, млн руб.	4689	1507	1275	1238	919	-3770
Инвестирование научных разработок, млн руб.	296	287	126	196	202	-94

Источник: составлено авторами по данным Волгоградстата [Статистический ежегодник Волгоградская область 2018]

Анализ инновационного развития Волгоградской области позволяет сделать вывод, что в регионе отмечается невысокая инновационная активность организаций. Количество организаций, осуществляющих НИОКР, в общей структуре предприятий области незначительное. Анализ таблицы показал динамику снижения количества данных предприятий с 47 до 43 в 2018 году. Это связано с низким финансированием организаций, занимающихся исследованиями, а также невостребованностью разработанных инноваций и технологий, отсутствием связей с производственными предприятиями [Babkin, Tashenova, Mamrayeva, Azimov, 2019]. Таким образом, разработки и инновации остаются неприменимыми для производства, а сами организации нерентабельными.

Исследование затрат на проведение научных исследований и технологических разработок показало стремительное снижение. Так, величина расходов в 2014 году составила 14995 млн руб., и уже в 2015 году уменьшилась до 4026 млн руб. Критически минимальное значение зафиксировано в 2018 году на уровне 3999 млн руб. Это позволяет сделать вывод, что в научной сфере деятельности региона присутствуют проблемы, связанные с выделением из бюджетов разных уровней средств и инвестированием в инновационные технологии и разработки.

На рис. 4 представлен график инновационного развития Волгоградской области. Исходя из представленных данных можно сделать вывод, что уменьшение финансирования и инвестирования денежных средств в инновационные разработки влечет за собой падение значения коэффициента инновационной активности организаций и снижение доли инновационных товаров и услуг. В этом и заключается одна из главных проблем производственного сектора, решить которую можно, разработав государственные программы поддержки инновационных предприятий [Cooke, Uranga, Etchebarria, 1998] и налаживая взаимодействие производственных и научных организаций [Moskovkin, Sizoongo, 2015].

За период 2014–2017 гг. инновационная активность изменилась значительно, т. е. увеличение показателя произошло с 2,1 % до 3,6 %. Однако, если проводить сравнительный анализ по годам, то наблюдается отрицательная тенденция – снижение показателя с 3,6 % в 2017 г. до 2 % в 2020 г. Удельный вес инновационных товаров в общем объеме отгруженных

товаров и выполненных работ в промышленном производстве региона показывает низкие значения. Кроме того, данный показатель уменьшил свое значение с 0,7 % в 2014 году до 0,3 % в 2020 г.



Рис. 5. Динамика показателей инновационной активности и развития Волгоградской области
Fig. 5. Dynamics of innovation activity and development indicators in the Volgograd region

На основании проведенного исследования сформулируем проблемы, препятствующие развитию производственного комплекса Волгоградской области:

- 1) отсутствие федеральной и региональной промышленной политики в краткосрочной и долгосрочной перспективе;
- 2) низкий уровень разработки и внедрения инноваций и инновационных технологий как научно-технологического фактора в развитии производственного комплекса;
- 3) отсутствие у предприятий и организаций финансовых, научных и инновационных ресурсов на модернизацию современных технологий производства;
- 4) недостаточное обновление технологической и инновационной инфраструктуры в регионе;
- 5) крайне низкое инжиниринговое обеспечение воспроизводства основных производственных фондов и технологического перевооружения предприятий;
- 6) отсутствие сформированных и функционирующих технологических связей, которые способствуют оптимизации кооперационных цепочек и снижению логистических и производственных затрат;
- 7) уменьшение количества инновационных и высокотехнологичных производственных предприятий, что влечет за собой падение удельного веса инновационной продукции;
- 8) невысокая рентабельность промышленного производства, снижающая возможности технического перевооружения и модернизации производственного оборудования.

В целях достижения производственными предприятиями промышленного комплекса Волгоградской области высокого уровня технического развития и увеличения экономических и финансовых показателей региона необходимо разработать программы и направления модернизации производственной и технической базы, применяя инновационные технологии и разработки.

Разрабатываемые мероприятия по развитию инновационной технологической инфраструктуры должны носить комплексный подход. Только при таком подходе будут решены проблемы технологического развития предприятий, коммерциализации инноваций и внедрение новых технологий в производство и как результат – производство конкурентоспособной продукции и увеличение спроса не только внутри страны, но и за рубежом.

Заключение

Таким образом, наибольший удельный вес в экономике Волгоградской области занимает промышленный комплекс, включающий в себя обрабатывающие и добывающие отрасли. Имеющиеся в наличии региона производственные, финансовые и инновационные ресурсы не в полной мере используются для развития промышленности. Однако динамика снижающихся показателей экспорта, производства отдельных видов продукции и уменьшение количества исследовательских предприятий свидетельствует о неэффективном и неполном использовании имеющегося территориального потенциала.

В промышленном комплексе Волгоградской области сложилась непростая ситуация, которая требует разработки и принятия мер на федеральном и региональном уровнях. Программы и мероприятия должны быть направлены на модернизацию и восстановление производства, структурную перестройку промышленности, способствующую увеличению доли обрабатывающих отраслей и сфер деятельности, воспроизводство основных фондов и техническое перевооружение организаций, основанных на научном подходе с применением инновационных технологий и разработок.

Список источников

- Волгоградская область в цифрах – 2019. 2020. Терр. орган Фед. службы гос. статистики по Волгоград. обл. Волгоград: Волгоградстат.
- Комитет экономики администрации Волгоградской области: офиц. портал. URL: <http://economics.volganet.ru>. (дата обращения: 15 октября 2021).
- О стратегии социально-экономического развития Волгоградской области до 2030 года. URL: proekt_vo.pdf (<economy.gov.ru>) (дата обращения: 10 октября 2021).
- Статистический ежегодник Волгоградская область 2018: сборник. 2019. Терр. орган Фед. службы гос. статистики по Волгоград. обл., Волгоград: Волгоградстат.
- Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года. URL: Proekt-Strategii-nauchno_tekhnologicheskogo-razvitiya-do-2035-g.pdf (<mordgpi.ru>) (дата обращения: 10 октября 2021)
- Федеральная служба государственной статистики по Российской Федерации. URL: <http://www.gks.ru>. (дата обращения: 10 октября 2021)

Список литературы

- Лапаев С.П. 2015. Приоритеты развития промышленного комплекса региона в условиях импортозамещения. Вестник Оренбургского государственного ун-та, 8(183): 79–85.
- Митина И.А. 2016. Региональный формат инновационного развития. Экономика и социум, 1: 641–643.
- 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(43): 76–83.
- Портер М. 2006. Экономическое развитие регионов. Пространственная экономика, 4: 115–139.
- Рыжая А.А., Ерыгина Л.В. 2016. Современные тенденции научно-технологического развития промышленного комплекса. Экономика и предпринимательство, 11(3): 13–17.
- Сурнина Н.М., Шишкина Е.А. 2013. Применение фрактального подхода в региональных исследованиях: признаки, критерии и принципы моделирования региональных фракталов. Региональная и муниципальная экономика, 4: 94–100.
- Сухарев О.С. 2018. Финансирование развития: решение структурно-распределительной задачи. Финансы: теория и практика, 22(3): 64–83.



- Татаркин А.И. 2015. Новая индустриализация экономики России: потребность развития и/или вызовы времени. *Экономическое возрождение России*, 2(44): 20–31.
- Филобокова Л.Ю., Вдовиченко М.М. 2017. Региональная промышленная политика и механизм ее управления, *Региональная экономика*, 1: 75–81.
- Babkin A., Tashenova L., Mamrayeva D., Azimov P. 2019. Development of Algorithm to Measure Digital Potential of High-tech Industrial Cluster. *ACM International Conference Proceeding Series*, 49: 1–7.
- Cooke P., Uranga M.G., Etxebarria G. 1998. Regional systems of innovation: an evolutionary perspective. *Environment and Planning*, 30: 63–84.
- Gawer A. and Cusumano M. 2014. Industry Platforms and Ecosystem Innovation. *J. Prod. Innov. Management*, 31(3): 417–433.
- Kuzmina M., Avdeyuk O., Kuzmina C., Tarasova I., Rayushkina A. 2020. Strategy of Development of Regional Infrastructure for Creating Innovative Production Complexes in the Digital Economy», *Digital Future Economic Growth, Social Adaptation, and Technological Perspectives. Lecture Notes in Networks and Systems*, 111: 31–37.
- Moskovkin V., Sizyoongo M., 2015. Dynamics of Russian regional innovation infrastructure, *Research Result: Economic Research*, 3(5): 64–85.

References

- Lapaev S.P. 2015. Priorities for the development of the industrial complex of the region in the context of import substitution. *Bulletin of the Orenburg State University*, 8(183): 79–85. (in Russian)
- Mitina I.A. 2016. Regional format of innovative development. *Economics and Society*, 1: 641–643. (in Russian)
- Morozova I.A., Shevchenko S.A., Kuzmina E.V. 2020. The study of the main factors of the stability of spatial development of territories from the perspective of a systemic approach. *Sustainable Development Economics*, 3(43): 76–83. (in Russian)
- Porter M. 2006. Economic development of the regions. *Spatial Economics*, 4: 115–139. (in Russian)
- Ryzhaya A.A., Erygina L.V. 2016. Modern trends in the scientific and technological development of the industrial complex. *Economics and Entrepreneurship*, 11(3): 13–17. (in Russian)
- Surnina N.M., Shishkina E.A. 2013. Application of the fractal approach in regional studies: features, criteria and principles of modeling regional fractals. *Regional and Municipal Economy*, 4: 94–100. (in Russian)
- Sukharev O.S. 2018. Financing of development: solving the structural and distributional problem. *Finance: Theory and Practice*, 22(3):64–83. (in Russian)
- Tatarkin A.I. 2015. The new industrialization of the Russian economy: the need for development and/or challenges of the time. *Economic Revival of Russia*, 2(44): 20–31. (in Russian)
- Filobokova L.Yu., Vdovichenko M.M. 2017. Regional Industrial Policy and its Management Mechanism, *Regional Economy*, 1: 75–81. (in Russian)
- Babkin A., Tashenova L., Mamrayeva D., Azimov P. 2019. Development of Algorithm to Measure Digital Potential of High-tech Industrial Cluster. *ACM International Conference Proceeding Series*, 49: 1–7.
- Cooke P., Uranga M.G., Etxebarria G. 1998. Regional systems of innovation: an evolutionary perspective. *Environment and Planning*, 30: 63–84.
- Gawer A. and Cusumano M. 2014. Industry Platforms and Ecosystem Innovation. *J. Prod. Innov. Management*, 31(3): 417–433.
- Kuzmina M., Avdeyuk O., Kuzmina C., Tarasova I., Rayushkina A. 2020. Strategy of Development of Regional Infrastructure for Creating Innovative Production Complexes in the Digital Economy», *Digital Future Economic Growth, Social Adaptation, and Technological Perspectives. Lecture Notes in Networks and Systems*, 111: 31–37.
- Moskovkin V., Sizyoongo M., 2015. Dynamics of Russian regional innovation infrastructure, *Research Result: Economic Research*, 3(5): 64–85.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Морозова Ирина Анатольевна, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики и предпринимательства, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

Кузьмина Екатерина Валериевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и предпринимательства, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

Шевченко Светлана Алексеевна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры экономики и предпринимательства, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Irina A. Morozova, Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Economics and Entrepreneurship, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

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

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



УДК 332.1+913

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-44-58

Пространственные пропорции экономики России

1) Пацала С.В., 1,2) Горошко Н.В.

1) Новосибирский государственный педагогический университет,
Россия, 630126, г. Новосибирск, ул. Виллойская, 28

2) Новосибирский государственный медицинский университет,
Россия, 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 52
E-mail: s-pacala@mail.ru; goroshko1@mail.ru

Аннотация. Эффективно организованное экономическое пространство оказывает огромное влияние на социально-экономическое развитие крупных хозяйственных систем. Особую роль это имеет для Российской Федерации, отличающейся гигантской площадью и многообразием структурных единиц пространственного развития. Широко доступных публикаций, отражающих региональную структуру экономики страны в разрезе основных уровней иерархии экономического районирования, недостаточно. Целью исследования является анализ основных пространственных пропорций производства ВРП на территории России. Основные методы исследования – анализ статистических материалов, характеризующих региональную структуру производства ВРП, и картографический. В результате исследования выявлены основные пространственные особенности хозяйства страны на современном этапе, показана территориальная структура производства ВРП в разрезе макрорегионов, экономических районов, федеральных округов и субъектов федерации. Рассчитана и картирована плотность экономического пространства регионов России. Показано, что выгоды экономико-географического положения, близость к крупнейшим рынкам сбыта и международной транспортной инфраструктуре способствовали ускоренному росту экономики в федеральных городах и отдельных приморских регионах. Большая же часть крупнейших региональных экономик представлена субъектами федерации, расположенными во внутренних районах страны, и отличающихся выраженной экспортной специализацией в отраслях энергетики, металлургического и химико-лесного комплекса. Концентрация очагов экономической жизни во внутренних районах огромной территории, отсутствие широкого «морского фасада» порождает «глубинность» экономики, усложняет комплекс взаимодействий с мировым хозяйством. Огромного размаха в России достигли и центрально-периферийные различия, хотя они и начали постепенно нивелироваться в последние годы.

Ключевые слова: региональная экономика, экономическое пространство, пространственная структура экономики, пространственное развитие

Для цитирования: Пацала С.В., Горошко Н.В. 2022. Пространственные пропорции экономики России. Экономика. Информатика. 49(1): 44–58. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-44-58

Spatial proportions of the Russian economy

1) Sergey V. Patsala, 1,2) Nadezhda V. Goroshko

1) Novosibirsk State Pedagogical University,
28 Vilyuiskaya St, Novosibirsk, 630126, Russia

2) Novosibirsk State Medical University,
52 Krasny Ave, Novosibirsk, 630091, Russia
E-mail: goroshko1@mail.ru; s-pacala@mail.ru

Abstract. An effectively organized economic space has a huge impact on the socio-economic development of large economic systems. This has a special role for the Russian Federation, which is characterized by a gigantic area and a variety of structural units of spatial development. Meanwhile, there are not enough widely available publications reflecting the regional structure of the country's economy in the context of the main levels of the hierarchy of economic zoning. The purpose of this study is to analyze the main spatial

proportions of GRP production in Russia. The main research methods were chosen analysis of statistical materials characterizing the regional structure of GRP production, and cartographic. As a result of the study, the main spatial features of the country's economy at the present stage were identified, the territorial structure of GRP production in the context of macro-regions, economic districts, federal districts and subjects of the federation was shown. The density of the economic space of the regions of Russia is calculated and mapped. It is shown that the benefits of economic and geographical location, proximity to the largest sales markets and international transport infrastructure contributed to accelerated economic growth in federal cities and certain coastal regions. Most of the largest regional economies are represented by the subjects of the federation located in the interior of the country and characterized by pronounced export specialization in the energy, metallurgical and chemical-forestry sectors. The concentration of centers of economic life in the interior of a vast territory, the absence of a wide "sea facade", generates a "depth" of the economy, complicates the complex of interactions with the world economy. Central-peripheral differences have also reached a huge scale in Russia, although they have gradually begun to level out in recent years.

Keywords: regional economy, economic space, spatial structure of the economy, spatial development

For citation: Patsala S.V., Goroshko N.V. 2022. Spatial proportions of the Russian Economy. Economics. Information technologies. 49(1): 44–58 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-44-58

Введение

Россия – крупнейшее государство мира, а ее экономическое пространство – явление сложное и многомерное, что, в свою очередь, влияет на крайне неравномерное территориальное развитие и размещение производительных сил [Гагарина, 2010]. Масштабность страны и ее пространственное разнообразие делают актуальным вопрос об эффективности территориальной организации хозяйства. Пространственное развитие приобретает ключевую роль в условиях модернизации российской экономики [Лаврикова, 2020, Пространственное..., 2020].

Учет пространственного фактора в условиях современных геоэкономических реалий становится критически важным условием конкурентной борьбы участников международных отношений [Серебренникова, 2020]. Так, только ввиду неэффективной пространственной организации производительных сил развивающиеся государства теряют до 2–3 % своего валового внутреннего продукта ежегодно [Spatial economics, 2020]. В этих условиях остро назрела необходимость проанализировать актуальные особенности пространственной структуры отечественной экономики.

Проблемы территориальной организации населения и хозяйства стоят в современной России крайне остро. Для их преодоления необходима специальная государственная политика, требующая представления о пространственной картине национального хозяйства, понимания основных закономерностей и пропорций его размещения. Один из ведущих отечественных специалистов в области пространственной и региональной экономики А.Г. Гранберг под пространственной структурой понимал размещение производительных сил по территории. В рамках исследования пространственной структуры нашей страны он анализировал различия между Западом и Востоком (Сибирь и Дальний Восток), Севером (зона Севера) и Югом, проводил сравнения в разрезе экономических районов [Гранберг, 2004].

Исследование авторов также было основано на выявлении основных пропорций в производстве ВРП в границах современных регионов страны, ее экономических районов и зон. Именно показатель ВРП выступает в роли информационного стержня, позволяя оптимально структурировать экономико-географическую информацию о распределении хозяйства на территории России.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является экономическое пространство России. Цель исследования – выявление основных пространственных пропорций размещения экономики на терри-

тории страны. Основными методами исследования были выбраны анализ статистических материалов, характеризующих региональную структуру суммарного ВРП Российской Федерации, представленных в статистических сборниках Федеральной службы государственной статистики, методы сравнительного анализа и картографический.

Методологической проблемой исследования явился выбор основных территориальных элементов для рассмотрения пространственных пропорций. Если выбор субъектов РФ в этом качестве был очевиден, то выбор регионов районирования более высокого иерархического уровня поставил авторов перед проблемой выбора таковых. Выбор был сделан в пользу экономических районов, выделенных в Общероссийском классификаторе экономических регионов [Общероссийский классификатор, 2021], поскольку, по мнению профессионального сообщества, границы федеральных округов мало соответствуют реальным принципам экономического районирования и не учитывают экономико-географические особенности территории [Заяц, 2000; Гладкий, 2006].

Результаты и их обсуждение

В распределении ВРП по территории нашей страны в той или иной степени проявляются все четыре основных типа (оси) региональных различий, обобщенных известным отечественным специалистом А.И. Трейвишем [Трейвиш, 2009]. Это различия по оси «запад – восток» (между европейской и азиатской частями страны), «север – юг» (регионы зоны Севера и основной полосы расселения и хозяйственного освоения), «русское ядро – этнорегионы» и «центр – периферия». Вдоль этих осей сформировался и сохраняется фундаментальный «пространственный каркас» российской экономики.

Формирование региональных различий по оси Запад (Европейская Россия) – Восток (Азиатская Россия) является следствием истории освоения и заселения страны. В годы советской власти акцент освоения восточных районов страны усилился, население и производство оказались значительно «сдвинуты» вглубь территории. Сегодня в условиях рынка экономическое пространство «сжимается» и восточная часть России постепенно теряет свою долю в отечественной экономике. Однако этот процесс недостаточно устойчив и имеет эволюционный характер (рис. 1).

Региональная ось Север (зона Севера) – Юг (основная полоса хозяйственного освоения) порождена широтной зональностью. В районах Крайнего Севера и приравненных к нему местностях (рис. 2), занимающих 2/3 территории России, создается около 15 % суммарного ВВП регионов страны, и эта доля принципиально не меняется уже на протяжении двух десятилетий. На долю этнорегионов приходится 19,9 % суммарного ВРП и более 2/3 этого объема (71 %) составляет удельный вес пяти автономий – двух округов Тюменской области, Татарстана, Башкирии и Якутии.

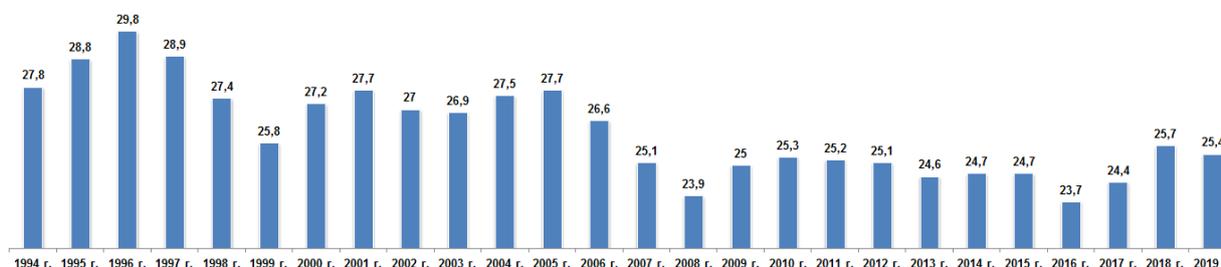


Рис. 1. Удельный вес Восточного макрорегиона в производстве суммарного ВРП регионов России (%)

Fig. 1. The share of the Eastern macro-region in production total GRP of Russian regions (%)

Составлено по: [Регионы России, 2020; Национальные счета России, 2021]



Рис. 2. Районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности (на 1 января 2019 г.)
 Fig. 2. Regions of the Far North and equivalent areas (as of January 1, 2019)
 Составлено по: [Экономические показатели..., 2019; Районный коэффициент..., 2020]

Самый вездесущий тип пространственных контрастов в России – центро-периферийные различия. Причем внутри регионов они не менее выражены, чем между ними. Москва стала феноменом современной экономики, резко увеличив отрыв от российской глубинки (рис. 3) [Зубаревич, 2017]. Только в последние несколько лет процесс усиления центро-периферийных различий между столицей и провинцией затормозился и даже несколько развернулся вспять. Однако в целом можно говорить об устойчивости экономического разрыва между Москвой и остальной Россией.

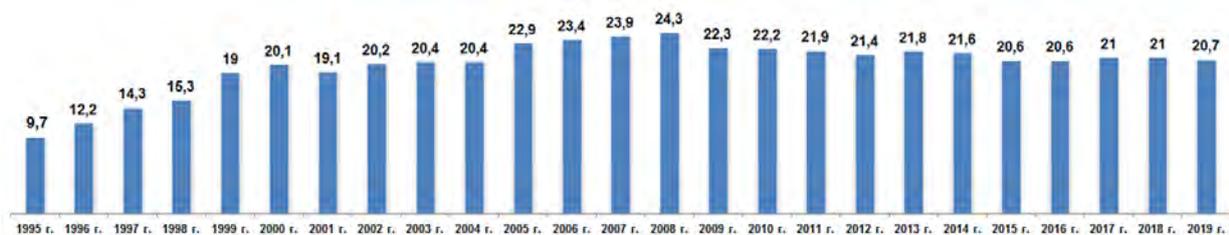


Рис. 3. Удельный вес Москвы в производстве суммарного ВРП регионов России (%)
 Fig. 3. The share of Moscow in the production of the total GRP of Russian regions (%)
 Составлено по: [Регионы России, 2020; Национальные счета России, 2021]

Агломерационный эффект позволил большим городам (особенно городам-миллионникам) быстрее адаптироваться к новым рыночным условиям. За исключением Омской области, все остальные регионы страны, на территории которых расположены мегаполисы с одним и более миллионами жителей, создают более 1 % ВРП страны. К сожалению, в условиях России понятия «крупнейший город региона» и «региональная столица» давно стали синонимами. Из 27 субъектов РФ, производящих более 1 % суммарного ВРП регионов, 17 имеют на своей территории город с численность населения в 1 и более миллиона человек (рис. 4).

Общая пространственная картина распределения экономики по территории России отражена на рисунке 5. Половина российской экономики концентрируется в девяти регионах, которые можно назвать «экономическим ядром» страны, где проживают немногим менее 30 % населения. То есть 2/3 жителей оказываются за пределами «экономического ядра» Рос-

сии. Например, в США в штатах, которые суммарно создают половину национального ВВП, проживает 48 % населения страны, в Австралии – 58 %, в Канаде – 62 % населения.



Рис. 4. Субъекты Российской Федерации, производящие более 1 % суммарного ВРП регионов страны (2019 г.)

Fig. 4. Subjects of the Russian Federation producing more than 1% total GRP of the regions of the country (2019)

Составлено по: [Регионы России, 2020]

В последней десятке субъектов Российской Федерации производится всего 1 % ВРП, а размах вариации между регионами по экономической мощи достигает 348 раз. Даже без учета «экстремума Москвы» разрыв в производстве ВРП между Московской областью и Еврейской автономией составляет 91 раз.

В общем случае размер ВРП коррелирует с численностью населения. Но в числе лидеров по величине регионального продукта нет таких тяжеловесов по людности, как Ростовская, Челябинская, Нижегородская или Самарская области. Их вытеснили сырьевые регионы, зарабатывающие за счет спекулятивных мировых цен на сырье. В том числе и это пространственное несовпадение демографического и экономического потенциалов заставляет вовлекать в перемещение на значительные расстояния сырье, материалы и готовую продукцию, увеличивая транспортную составляющую экономики страны.

Устойчивым пространственным трендом развития России в постсоветский период является растущая концентрация экономической жизни в сильнейших регионах (табл. 1). Отрыв федеральных городов (Москвы и Санкт-Петербурга) связан не только с бурным развитием постиндустриальных отраслей, но и с концентрацией в «столицах» штаб-квартир крупнейших монополий страны, ведущих сырьевых компаний [Гладкий, 2006; Гладкий, 2014; Зубаревич, Сафронов, 2019]. Во многом именно грандиозные масштабы сосредоточения головных офисов ведущих вертикально интегрированных корпораций в Москве, а позже и в Петербурге привели к значительному снижению удельного веса в отечественной экономике других регионов и экономических районов [Пространственное..., 2020].

Для малонаселенной страны большого территориального размаха подобная картина выглядит весьма естественно – в условиях либеральной экономики происходит пространственная концентрация хозяйственной жизни в регионах, обладающих определенными сравнительными преимуществами [Krugman, 1993; Гранберг, 2004; Зубаревич, 2017]. В таких

государствах, как Канада и Австралия, также живущих в условиях диспропорции размеров своего населения и пространства, степень территориальной концентрации хозяйственной жизни достаточно высока. В провинции Онтарио создается 39 % канадской экономики, а в Новом Южном Уэльсе – 32 % австралийской. Неестественным (в сравнении с государствами высокоразвитой рыночной экономики) в сложившейся картине в нашей стране выглядит хозяйственная доминанта Москвы, активно использующей ренту своего столичного статуса, что приводит к чудовищной концентрации здесь национального капитала [Гладкий, 2014]. Ни в одной из стран-гигантов по площади, кроме России, столичная территория не является первым регионом по экономической мощи.



Рис. 5. ВРП субъектов Российской Федерации (2019 г.)
Fig. 5. GRP of constituent entities of the Russian Federation (2019)
Составлено по: [Национальные счета России, 2021]

Среди 117 регионов стран мира, годовой объем ВРП которых превышает 200 млрд долл. (по паритету покупательной способности), российский лишь один – находящаяся на 35 строчке мирового рейтинга Москва (2017 г.). Все остальные субъекты Российской Федерации не дотянули до нижней планки рейтинга. Между тем в списке широко представлены китайские провинции (28), штаты США (27), Индии (16), Бразилии (5), Канады (4), Австралии (4), японские префектуры (6) и немецкие земли (5) [List of country..., 2021].

Применительно к современному этапу развития нашей страны сравнительными преимуществами регионального лидерства являются: обеспеченность экспортными сырьевыми ресурсами, агломерационный эффект и выгоды экономико-географического (в первую очередь транспортно-географического) положения. Именно эти преимущества позволили попасть в группу «лидеров» федеральным городам, стоящим на основных торговых путях приморским регионам и, безусловно, ведущим нефтегазовым и металлургическим субъектам РФ. В XXI веке экономика страны приобрела выраженный восточный «флюс» при сохранении лидирующих позиций старого Центра (рис. 6).



Таблица 1
 Table 1

Доля крупнейших субъектов в суммарном ВРП регионов России
 The share of the largest entities in the total GRP of Russian regions

№ п/п	Субъекты РФ	%	№ п/п	Субъекты РФ	%
1995 г.			2000 г.		
1	г. Москва	9,7	1	г. Москва	20,1
2	Тюменская обл.	7,4	2	Ханты-Мансийский АО	7,0
3	Свердловская обл.	4,0	3	Красноярский край	3,7
4	г. Санкт-Петербург	3,3	4	г. Санкт-Петербург	3,3
5	Московская обл.	3,3	5	Республика Татарстан	3,2
6	Красноярский край	3,2	6	Московская обл.	3,1
7	Самарская обл.	3,1	7	Свердловская обл.	2,7
8	Республика Башкортостан	2,9	8	Республика Башкортостан	2,5
9	Республика Татарстан	2,7	9	Самарская обл.	2,4
10	Кемеровская обл.	2,6	10	Краснодарский край	2,4
Итого 10 регионов		42,2	Итого 10 регионов		50,5
11	Пермский край	2,6			
12	Иркутская обл.	2,4			
13	Нижегородская обл.	2,4			
Итого 13 регионов ≈ 1/2 ВРП РФ		49,7	Итого 10 регионов ≈ 1/2 ВРП РФ		50,5
2005 г.			2010 г.		
1	г. Москва	22,9	1	г. Москва	22,2
2	Ханты-Мансийский АО	7,6	2	Ханты-Мансийский АО	5,2
3	Московская обл.	3,9	3	Московская обл.	4,9
4	г. Санкт-Петербург	3,7	4	г. Санкт-Петербург	4,5
5	Республика Татарстан	2,7	5	Красноярский край	2,8
6	Свердловская обл.	2,6	6	Свердловская обл.	2,8
7	Ямало-Ненецкий АО	2,4	7	Краснодарский край	2,7
8	Красноярский край	2,4	8	Республика Татарстан	2,7
9	Самарская обл.	2,2	9	Ямало-Ненецкий АО	2,1
Итого 9 регионов ≈ 1/2 ВРП РФ		50,7	Итого 9 регионов ≈ 1/2 ВРП РФ		49,9
10	Республика Башкортостан	2,1	10	Республика Башкортостан	2,0
Итого 10 регионов		52,9	Итого 10 регионов		51,9
2015 г.			2019 г.		
1	г. Москва	20,6	1	г. Москва	20,7
2	г. Санкт-Петербург	5,2	2	Московская обл.	5,4
3	Московская обл.	4,8	3	г. Санкт-Петербург	5,4
4	Ханты-Мансийский АО	4,8	4	Ханты-Мансийский АО	4,8
5	Краснодарский край	2,9	5	Ямало-Ненецкий АО	3,3
6	Республика Татарстан	2,8	6	Республика Татарстан	2,9
7	Свердловская обл.	2,8	7	Красноярский край	2,8
8	Ямало-Ненецкий АО	2,7	8	Краснодарский край	2,7
9	Красноярский край	2,5	9	Свердловская обл.	2,7
Итого 9 регионов ≈ 1/2 ВРП РФ		49,2	Итого 9 регионов ≈ 1/2 ВРП РФ		50,8
10	Республика Башкортостан	2,0	10	Республика Башкортостан	1,9
Итого 10 регионов		51,2	Итого 10 регионов		52,7

Составлено по: [Регионы России, 2020; Национальные счета России, 2021]

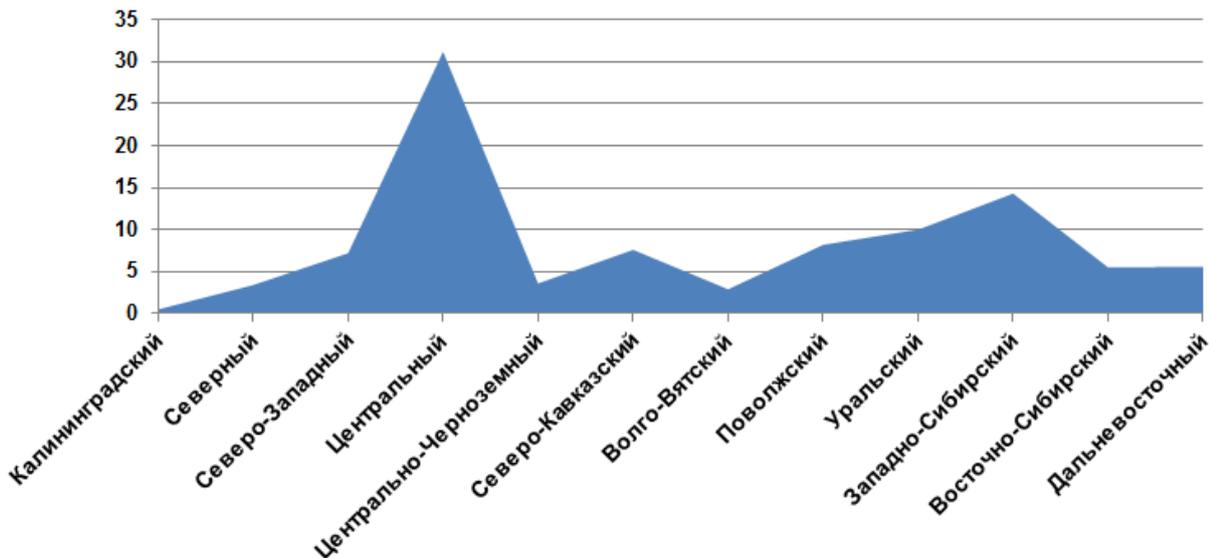


Рис. 6. Геоэкономический профиль производства суммарного ВВП регионов России по экономическим районам (% , 2019 г.)

Fig. 6. Geostatic profile of the production of total GRP of Russian regions by economic regions (% , 2019)

Составлено по: [Национальные счета России, 2021]

Таким образом, пространственный каркас экономики России включает:

- объ-урало-средневолжский кластер;
- две столицы с Подмосковьем;
- крупные предкавказские регионы-аграрии;
- металлургический Красноярский край.

То есть пространственная структура отечественной экономики изменилась в пользу ресурсно-экспортных регионов и эти изменения приобрели устойчивый характер.

На противоположном полюсе находятся субъекты, представляющие собой периферию экономического пространства страны. Они образуют три пояса (см. рис. 4–5):

- приграничный юг Сибири и Дальнего Востока;
- кавказские республики и территории Нижнего Поволжья;
- ряд регионов, расположившихся на периферии московского подстоличья.

Принадлежность двух первых групп к периферии экономики России вполне объяснима: это небольшие по численности населения, отсталые неудобья, искусственно выделенные в ходе национально-территориального размежевания в особые административные единицы по этническому признаку. В большинстве территорий, входящих в две первые группы, не было сколько-нибудь значимого города, способного сыграть роль ядра, полюса роста.

В третьей группе оказались в основном старопромышленные регионы Подмосковья и Волги: преобладающие в структуре их экономик отрасли оборонно-промышленного комплекса, машиностроения и легкой промышленности так и не смогли полностью восстановиться после глубокого кризиса 90-х гг.

Представление о региональной дифференциации хозяйственной мощи дает структура ВВП страны в разрезе экономических районов (рис. 7). Суммарно три из двенадцати экономических районов (Центральный, Западно-Сибирский и Уральский) создают 56 % ВВП (табл. 2). За период 1995–2019 годов их общая доля выросла на 5 %. Среди отдельных районов за это время наиболее значительно увеличили свой удельный вес Центральный и Северо-Западный районы (на 10,3 % и 2,3 % соответственно), а наиболее сократился вклад Уральского и Поволжского районов (на 4,6 % и 2,3 %).

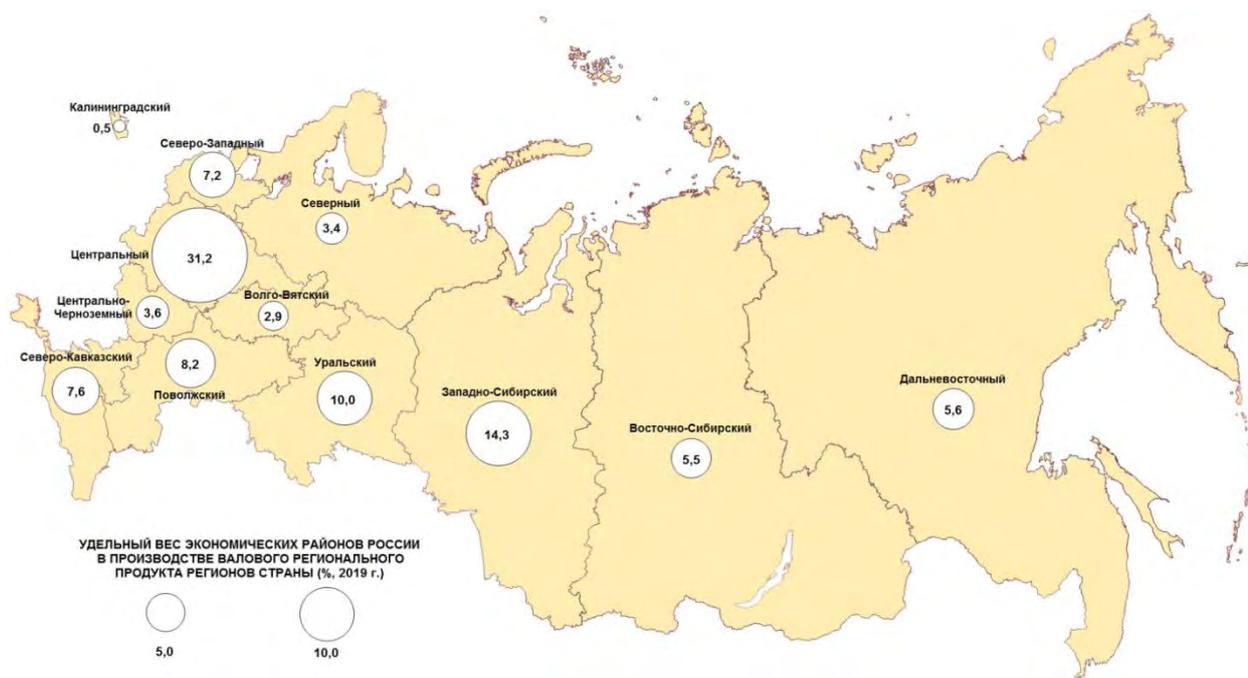


Рис. 7. Производство ВРП в экономических районах России
 Fig. 7. GRP production in the economic regions of Russia
 Составлено по: [Национальные счета России, 2021]

Таблица 2
 Table 2

Территориальная структура суммарного ВРП регионов России, %
 Territorial structure of the total GRP of Russian regions, %

Экономические районы	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2019 г.
Северный	5,4	4,8	4,1	3,6	3,4	3,4
Северо-Западный	4,9	4,9	5,4	6,4	6,5	7,2
Центральный	20,9	28,6	31,6	32,1	30,9	31,2
Волго-Вятский	4,5	3,3	2,9	3,1	3,0	2,9
Центрально-Черноземный	4,2	3,4	3,2	3,5	4,1	3,6
Поволжский	10,5	9,4	8,3	8,0	8,4	8,2
Северо-Кавказский	6,3	5,8	5,6	7,0	8,0	7,6
Уральский	14,6	12,1	10,7	10,4	10,4	10,0
Западно-Сибирский	15,5	15,1	18,1	14,3	14,3	14,3
Восточно-Сибирский	7,0	6,8	5,0	5,4	5,1	5,5
Дальневосточный	5,8	5,4	4,6	5,6	5,5	5,6
Калининградский	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5

Составлено по: [Гранберг, 2004; Регионы России, 2020; Национальные счета России, 2021]

Пространственные пропорции экономики в разрезе федеральных округов менее информативны в экономико-географическом плане и более контрастны по причине почти в два раза меньшего количества самих федеральных округов (рис. 8). Здесь особенно рельефно проявляется отставание в развитии национальных субъектов Северо-Кавказского федерального округа, где проживает 11 % населения страны, а производится менее 2,5 % суммарного ВРП.

Важной качественной характеристикой экономического пространства, отражающей насыщенность территории экономическими объектами и хозяйственной деятельностью, является плотность экономического пространства (плотность экономической жизни), выраженная через объем ВРП на единицу площади [Федоляк, 2019; Секушина, 2020; Суворова, 2021]. Прочность структуры экономического пространства и темпы вовлечения его потенци-

ала в хозяйственный оборот определяются плотностью этого пространства [Аврамчикова, 2008]. Производительность экономического объекта тем ниже, чем дальше он расположен от районов с высокой плотностью экономической жизни. Так, производительность уменьшается на 15 %, а прибыль – на 6 % при двукратном росте этого расстояния [Доклад..., 2009].



Рис. 8. Производство ВРП в федеральных округах России
Fig. 8. GRP production in the federal districts of Russia
Составлено по: [Национальные счета России, 2021]

Максимальной плотностью экономического пространства в нашей стране выделяются федеральные города, Подмосковье с рядом окружающих его регионов, Черноземье, отдельные субъекты Северного Кавказа и Среднего Поволжья, Урал (рис. 9). Особую роль в пространственной организации экономики в России приобретает барьер неразвитой транспортной инфраструктуры. Плотность экономической жизни значительно возрастает вдоль важнейших транспортных магистралей. Так, на приведенной на рисунке 9 картосхеме отчетливо «проявляются» контуры трассы М4 «Дон» или западного полигона Транссиба.

В условиях свободного формирования тарифов, в первую очередь, транспортных, Россия неизбежно сталкивается с необходимостью решения важнейших проблем пространственного развития страны. Часть этих проблем напрямую порождена обширностью нашего отечества, другая является следствием советского планирования и территориальной организации хозяйства. Многие формы и методы пространственной организации советской экономики в современных условиях оказались неэффективными.

К главным проблемам пространственной организации национальной экономики на современном этапе можно отнести [Пространство..., 2012; Дружинин, 2019; Вызовы..., 2020]:

- менее эффективное размещение хозяйства, выраженное в низкой пространственной концентрации экономики («распыленность» экономической жизни), по сравнению со странами-аналогами; процессы агломерации и концентрации не приносят должного эффекта масштаба и сдерживаются политически;
- большие расстояния между производителями и потребителями;
- гипертрофия столицы и усиление «центро-периферийных» различий;
- глубинность хозяйства, являющаяся результатом длительной политики сдвига производительных сил страны на Восток.

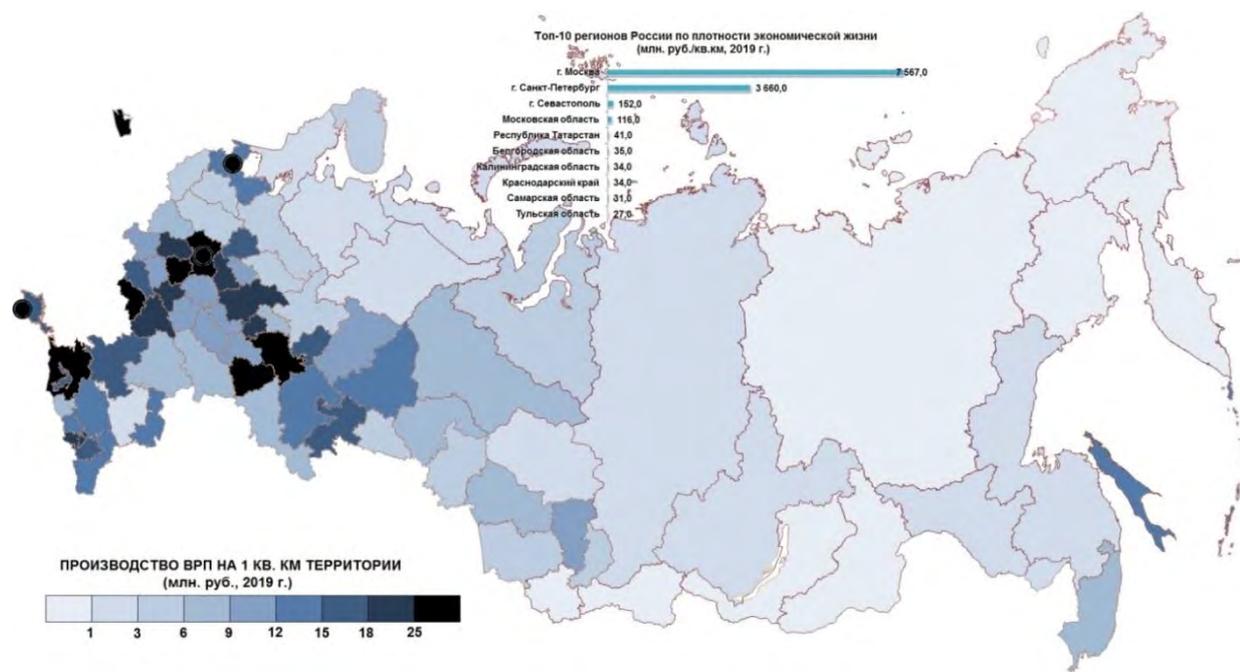


Рис. 9. Плотность экономического пространства субъектов РФ
Fig. 9. Density of the economic space of the constituent entities of the Russian Federation
Составлено по: [Национальные счета России, 2021]

Особенно болезненно высокая стоимость сухопутной транспортировки сказывается на прибыльности экспортных поставок – длинные континентальные перевозки очень накладны для российского грузоемкого сырьевого экспорта. Все регионы нашей страны, имеющие выходы к морям и океанам, совокупно создают лишь четвертую часть российской экономики. В таких близких (с точки зрения пространства) к России странах как Канада или Австралия в приморских регионах концентрируется 81 и 97 % национальной экономики соответственно.

Эти особенности социально-экономической организации пространства сегодня крайне негативно сказываются на развитии страны и участии ее в мирохозяйственных связях. Увеличиваются расходы на инфраструктуру территорий, теряющих население и производственный капитал, острый дефицит которых ощущается в растущих регионах страны. Сырьевые регионы оказываются наиболее конкурентоспособной частью экономического пространства России, оттягивая на себя проектные мощности, капитал и квалифицированные кадры. В стране практически нет зон, где была бы сформирована высокоразвитая урбанистическая ткань, концентрирующая современную инфраструктуру, качественную среду жизни и инновационные ресурсы будущего.

Заключение

Неизбежное свойство любого экономического пространства, формирующегося под действием факторов хозяйственной специализации и концентрации, различиях в системе расселения и урбанизации – неравномерное размещение видов деятельности по территории [Идрисов, Михайлова, 2019]. В условиях рыночной экономики хозяйственная деятельность не растекается по значительной территории, заставляя впоследствии коммуникациям соединять поселения. Наоборот, под воздействием различных факторов она стремится к концентрации в наиболее благоприятных для экономической деятельности локациях [Зубаревич, 2014].

То есть с экономической точки зрения на процессы развития той или иной территории в большей степени оказывает воздействие не столько ее пространственная величина, сколько характер размещения на ней населения и хозяйства. Концентрация очагов экономической жизни во внутренних районах огромной территории, отсутствие широкого «морского фаса-

да» порождает «глубинность» экономики, усложняет комплекс взаимодействий с мировым хозяйством.

Российское пространство и особенности его хозяйственной организации создают серьезные проблемы для эффективного управления страной и ее экономической конкурентоспособности. В условиях «разреженности» экономического пространства возрастают прямые транспортные издержки, усложняется функционирование институтов. Страна не может сократить физические расстояния, а процесс сокращения экономических расстояний протекает крайне медленно. Как нам видится, главная проблема российских пространств – это не столько их размеры, сколько способы их преодоления и неэффективная система размещения хозяйства, связанная с распыленностью экономической жизни и значительной удаленностью от рынков и магистральной транспортной инфраструктуры.

Размещение экономической жизни в России остается все еще менее эффективным, чем в крупнейших странах мира, о чем свидетельствует более низкая пространственная концентрация производства ВВП.

В роли локомотива отечественной экономики выступают регионы с выраженной экспортной специализацией в отраслях энергетики, металлургического и химико-лесного комплекса. Выгоды экономико-географического положения, близость к крупнейшим рынкам сбыта и международной транспортной инфраструктуре способствовали ускоренному росту экономики в федеральных городах и отдельных приморских регионах.

Аграрные регионы Северного Кавказа и Южной Сибири, значительное число регионов Центральной России, специализирующихся на машиностроении и текстильном производстве, которые так и не смогли справиться с депрессивностью своего хозяйства, часть проблемных регионов Тихоокеанской России выступают в роли аутсайдеров.

Пространственная картина современной экономики страны формируется под влиянием базовых факторов, обусловленных преимуществами и барьерами пространственного развития, выделенными американским экономистом и экономико-географом, основателем «новой экономической географии» П. Кругманом [Krugman, 1993]:

- обеспеченности экспортными природными ресурсами;
- выгод географического положения, снижающих транспортные издержки (особенно приморское и приграничное положение на мировых торговых путях);
- современной транспортной инфраструктуры, уменьшающей экономические расстояния и облегчающей внутри- и межгосударственную кооперацию;
- агломерационного эффекта, позволяющего существенно сократить производственные издержки благодаря экономии на масштабе;
- человеческого капитала с уровнем его образования и набором производственных компетенций.

Именно регионы, обладающие тем или иным набором подобных факторов, и становятся лидерами в производстве ВВП страны в условиях рыночной среды.

Территориальная концентрация хозяйственной деятельности проявляется в любой стране, особенно в странах-гигантах. В России в 1994 г. удельный вес десяти наиболее экономически мощных регионов страны составлял 41 % суммарного ВВП, а в 2019 г. – уже 53 %. Это связано в первую очередь с ростом доли федеральной столицы, которая увеличилась за тот же период в два раза. В любом государстве в большей или меньшей степени всегда проявляются центрo-периферийные различия, но в России они достигли огромного размаха, хотя и начали постепенно нивелироваться в последние годы.

В условиях свободного формирования тарифов, в первую очередь, транспортных, Россия неизбежно столкнется с необходимостью решения важнейших проблем пространственного развития страны, определяемых сдвигом производительных сил в советский период на Восток и Север.

Для формирования современной территориальной структуры российской экономики необходимо ускоренное выполнение стратегии пространственного развития страны. Боль-



шинству государств, подобно России, имеющих территориально-диверсифицированную структуру, экономических успехов удалось добиться за счет опережающего развития нескольких наиболее «сильных» регионов, выступающих в роли локомотива хозяйственной жизни. Для этого в России нужно сформировать опорный каркас пространственного развития, узлами которого станут крупные городские агломерации (инновационные и управленческие центры, концентрирующие в себе экономическую активность и выступающие источником изменений) и транспортные узлы, связанные между собой магистральной транспортной инфраструктурой.

Пока же в экономическом пространстве России доминируют регионы сырьевые и часто малонаселенные. На огромной территории нашей страны располагается всего два мировых города – Москва и Санкт-Петербург. Для сравнения, в «маленькой» Польше таких центров четыре [The World According, 2020]. Одной из главных проблем пространственного развития страны является отсутствие значимого экономического центра на Востоке России, что снижает ее конкурентные позиции в Азиатско-Тихоокеанском регионе и возможности региональной экономической интеграции.

Список источников

- Гранберг А.Г. 2004. Основы региональной экономики: учебник для вузов. М., Изд. дом ГУ ВШЭ, 495 с.
- Заяц Д.В. 2000. Начало новой административно-территориальной реформы? География, 21: 1–2.
- Национальные счета России в 2013–2020 годах: Стат. сб. 2021. М., Росстат, 263 с.
- Общероссийский классификатор экономических регионов. ОК 024-95 (утв. Постановлением Госстандарта России от 17.12.1995 № 640) (ред. от 10.02.2021) // КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_115583/ (дата обращения: 05.11.2021).
- Районный коэффициент и правила его применения в регионах России в 2020 году. ЗАКОН. URL: <https://zakonguru.com/trudovoe/oplata/pensija/rajonnyj-koefficient.html> (дата обращения: 23.08.2020).
- Регионы России. Социально-экономические показатели. 2020: Стат. сб. М., Росстат, 1242 с.
- Экономические и социальные показатели районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей в 2000–2018 годах. Федеральная служба государственной статистики. URL: https://gks.ru/bgd/regl/b19_22/Main.htm (дата обращения: 23.08.2020).
- List of country subdivisions by GDP over 200 billion US dollars. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_country_subdivisions_by_GDP_over_200_billion_US_dollars (дата обращения: 20.01.2022).
- Spatial economics. Volume I, Theory / edited by Stefano Colombo. Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2020. 365 p.
- The World According to GaWC 2020. URL: <https://www.lboro.ac.uk/gawc/world2020t.html> (дата обращения: 20.02.2022).

Список литературы

- Аврамчикова Н.Т., Лукиных В.Ф. 2008. Проблемы пространственного развития регионов сырьевой направленности и пути их решения. Региональная экономика: теория и практика, 19: 25–34.
- Вызовы и политика пространственного развития России в XX веке. 2020. Ред. В.М. Котляков, А.Н. Швецов, О.Б. Глезер. М., Товарищество научных изданий КМК, 365 с.
- Гагарина Г.Ю. 2010. Изменения в пространственной организации ведущих сфер экономики России в конце XX – начале XXI в. Вестник РУДН, серия Экономика, 2: 21–27.
- Гладкий Ю.Н. 2006. Россия в лабиринтах географической судьбы. СПб., Издательство Р. Асланова «Юридический центр Пресс», 846 с.
- Гладкий Ю.Н. 2014. Роль ренты столичного статуса в усилении регионального неравенства. Вестник Забайкальского государственного университета, 10: 106–114.
- Доклад о мировом развитии 2009. Новый взгляд на экономическую географию. 2009. М., Весь мир, 408 с.
- Дружинин А.Г. 2019. Трансформация пространства России в контексте формирования «Большой Евразии»: важнейшие факторы и векторы. Вопросы географии, 148: 110–143.
- Зубаревич Н.В. 2014. Региональное развитие и региональная политика в России. ЭКО, 4: 7–27.

- Зубаревич Н.В. 2017. Развитие российского пространства: барьеры и возможности региональной политики. *Пространственная экономика*, 2: 46–57.
- Зубаревич Н.В., Сафронов С.Г. 2019. Развитие больших городов России в 2010-х годах. *Региональные исследования*, 1: 39–51.
- Идрисов Г.И., Михайлова Т.Н. 2019. *Пространственная организация как фактор экономического развития*. М., Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 60 с.
- Лаврикова Ю.Г., Суворова А.В. 2020. Оптимальная пространственная организация экономики региона: поиск параметров и зависимостей. *Экономика региона*, Т. 16, 4: 1017–1030. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-4-1>
- Пространственное развитие современной России: тенденции, факторы, механизмы, институты. 2020. Под ред. Е.А. Коломак. Новосибирск, Изд-во ИЭОПП СО РАН, 502 с.
- Пространство современной России: возможности и барьеры развития (размышления географов-обществоведов). 2012. Отв. ред. А.Г. Дружинин, В.А. Колосов, В.Е. Шувалов. М., Вузовская книга, 336 с.
- Секушина И.А. 2020. Оценка качества экономического пространства регионов Европейского Севера России. *Известия ДВФУ. Экономика и управление*, 4: 38–50. DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2311-2271/2020-4/38-50>.
- Серебренникова А.В. 2020. Пространственная экономика: перспективы развития. *Региональная экономика и управление: электронный научный журнал*. URL: <https://eee-region.ru/article/6409> (дата обращения: 15.01.2022).
- Суворова А.В. 2021. Практические аспекты оценки экономического пространства. *Теоретическая и прикладная экономика*, 1: 86–98. DOI: 10.25136/2409-8647.2021.1.35545
- Трейвиш А.И. 2009. *Город, район, страна и мир. Развитие России глазами страноведа*. М., Новый хронограф, 372 с.
- Федоляк В.С. 2019. Плотность экономического пространства как показатель эффективного использования потенциала территории. *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право*, Т. 19, 2: 122–127. DOI: <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2019-19-2-122-127>
- Krugman P.R. 1993. First Nature, Second Nature, and Metropolitan Location. *Journal of Regional Science*, 33: 129–144.

References

- Avramchikova N.T., Lukinykh V.F. 2008. Problemy prostranstvennogo razvitiya regionov syr'evoy napravlenosti i puti ikh resheniya [Problems of spatial development of raw material-oriented regions and ways to solve them]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*, 19: 25–34.
- Vyzovy i politika prostranstvennogo razvitiya Rossii v XX veke. 2020 [Challenges and policy of spatial development of Russia in the XX century. 2020]. Red. V.M. Kotlyakov, A.N. Shvetsov, O.B. Glezer. М., Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 365 s.
- Gagarina G.Yu. 2010. Izmeneniya v prostranstvennoy organizatsii vedushchikh sfer ekonomiki Rossii v kontse XX – nachale XXI v. [Changes in the spatial organization of the leading spheres of the Russian economy in the late XX - early XXI century] *Vestnik RUDN, seriya Ekonomika*, 2: 21–27.
- Gladkiy Yu.N. 2006. *Rossiya v labirintakh geograficheskoy sud'by* [Russia in the labyrinths of geographical destiny]. SPb., Izdatel'stvo R. Aslanova «Yuridicheskiy tsentr Press», 846 s.
- Gladkiy Yu.N. 2014. Rol' renty stolichnogo statusa v usilenii regional'nogo neravenstva [The role of the rent of the capital status in the strengthening of regional inequality]. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 10: 106–114.
- Doklad o mirovom razvitii 2009. Novyy vzglyad na ekonomicheskuyu geografiyu. 2009 [World Development Report 2009. A new look at economic geography]. М., Ves' mir, 408 s.
- Druzhinin A.G. 2019. Transformatsiya prostranstva Rossii v kontekste formirovaniya «Bol'shoy Evrazii»: vazhneyshie faktory i vektory [Transformation of Russia's Space in the context of the formation of "Greater Eurasia": the most important factors and vectors]. *Voprosy geografii*, 148: 110–143.
- Zubarevich N.V. 2014. Regional'noe razvitie i regional'naya politika v Rossii [Regional development and regional policy in Russia]. *EKO*, 4: 7–27.
- Zubarevich N.V. 2017. Razvitie rossiyskogo prostranstva: bar'ery i vozmozhnosti regional'noy politiki [Development of the Russian space: barriers and opportunities of regional policy]. *Prostranstvennaya ekonomika*, 2: 46–57.



- Zubarevich N.V., Safronov S.G. 2019. Razvitie bol'shikh gorodov Rossii v 2010-kh godakh [Development of Russia's Big cities in the 2010s]. *Regional'nye issledovaniya*, 1: 39–51.
- Idrisov G.I., Mikhaylova T.N. 2019. Prostranstvennaya organizatsiya kak faktor ekonomicheskogo razvitiya [Spatial organization as a factor of economic development]. M., Izdatel'skiy dom «Delo» RANKhiGS, 60 s.
- Lavrikova Yu.G., Suvorova A.V. 2020. Optimal'naya prostranstvennaya organizatsiya ekonomiki regiona: poisk parametrov i zavisimostey [Optimal spatial organization of the region's economy: search for parameters and dependencies]. *Ekonomika regiona*, T. 16, 4: 1017–1030. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-4-1>
- Prostranstvennoe razvitie sovremennoy Rossii: tendentsii, faktory, mekhanizmy, instituty. 2020 [Spatial development of modern Russia: trends, factors, mechanisms, institutions. 2020]. Pod red. E.A. Kolomak. Novosibirsk, Izd-vo IEOPP SO RAN, 502 s.
- Prostranstvo sovremennoy Rossii: vozmozhnosti i bar'ery razvitiya (razmyshleniya geografov-obshchestvovedov). 2012 [The space of modern Russia: opportunities and barriers of development (reflections of geographers-social scientists). 2012]. Otv. red. A.G. Druzhinin, V.A. Kolosov, V.E. Shuvalov. M., Vuzovskaya kniga, 336 s.
- Sekushina I.A. 2020. Otsenka kachestva ekonomicheskogo prostranstva regionov Evropeyskogo Severa Rossii [Assessment of the quality of the economic space of the regions of the European North of Russia]. *Izvestiya DVFU. Ekonomika i upravlenie*, 4: 38–50. DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2311-2271/2020-4/38-50>
- Serebrennikova A.V. 2020. Prostranstvennaya ekonomika: perspektivy razvitiya [Spatial economy: development prospects]. *Regional'naya ekonomika i upravlenie: elektronnyy nauchnyy zhurnal*. URL: <https://eee-region.ru/article/6409> (data obrashcheniya: 15.01.2022).
- Suvorova A.V. 2021. Prakticheskie aspekty otsenki ekonomicheskogo prostranstva [Practical aspects of economic space assessment]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekonomika*, 1: 86–98. DOI: 10.25136/2409-8647.2021.1.35545
- Treyvish A.I. 2009. Gorod, rayon, strana i mir. Razvitie Rossii glazami stranoveda [City, district, country and the world. The development of Russia through the eyes of a country scientist]. M., Novyy khronograf, 372 s.
- Fedolyak V.S. 2019. Plotnost' ekonomicheskogo prostranstva kak pokazatel' effektivnogo ispol'zovaniya potentsiala territorii [The density of economic space as an indicator of the effective use of the potential of the territory]. *Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Ekonomika. Upravlenie. Pravo*, 19, 2: 122–127. DOI: <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2019-19-2-122-127>
- Krugman P.R. 1993. First Nature, Second Nature, and Metropolitan Location. *Journal of Regional Science*, 33: 129–144.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пацала Сергей Викторович, старший преподаватель кафедры географии, регионоведения и туризма, Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия

Горошко Надежда Владимировна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географии, регионоведения и туризма, Новосибирский государственный педагогический университет; доцент кафедры гигиены и экологии, Новосибирский государственный медицинский университет, Новосибирск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey V. Patsala, Senior Lecturer of the Department of Geography, Regional Studies and Tourism of the Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

Nadezhda V. Goroshko, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geography, Regional Studies and Tourism of the Novosibirsk State Pedagogical University, Russia; Associate Professor of the Department of Hygiene and Ecology of the Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

INVESTMENT AND INNOVATIONS

УДК 339.7

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-59-66

Финансовые инновации развития социальной и солидарной экономики

Зенкина Е.В.

Российский государственный гуманитарный университет
Россия, 125993, ГСП-3, Москва, Миусская площадь, д. 6
E-mail: evzenkina@mail.ru

Аннотация. В мире существует ряд экономических проектов социальной экономики, основанных на принципах братства, солидарности, объединивших свободных и равных перед законом граждан, стирающих границы между экономическим и социальным аспектами жизни общества. Учитывая растущую урбанизацию, распад традиционных связей, распространение индивидуализма, доминирование материальных ценностей и атомизации общества, рассматриваемые в статье дополнительные денежные системы выступают в качестве инструмента, восстанавливающего социальные связи и объединяющие людей в социальные сети, чтобы противодействовать социальной изоляции, и, в целом, позволяющие выстраивать солидарное и горизонтальное общество. Это эффективный инструмент социальной инженерии. Концепция солидарности занимала важное место и в истории русской мысли. Однако, в современной России, на наш взгляд, практики солидарной и социальной экономики (ССЭ) могли бы стать действенным подспорьем в таких сферах, как экологически сбалансированное развитие, оживление экономической деятельности и оздоровление социального климата в депрессивных регионах, а также в целом драйвером развития социального капитала. В данной статье рассмотрен аспект финансовых инноваций развития ССЭ – это увеличение доступных населению средств обмена внутри отдельного сообщества. В частности таких, как: банки времени (time banks), системы местного торгового обмена (LETS). Исследовательская гипотеза состоит в том, чтобы проанализировать, как устойчивость территории может быть повышена при использовании различных денежных систем, которые выступают в качестве инструмента, восстанавливающего социальные связи и объединяющего людей. Исследовательский подход основан на сравнении первого поколения дополнительных валют, устройства второго поколения банков времени и третьего поколения взаимодополняющих валют, что, таким образом, способствует пониманию роста сферы социальной и солидарной экономики в настоящее время. В результате исследования было доказано, что дополнительные валюты четвертого поколения не только формируют социальные связи между людьми, но и используются в рамках реализации социальных и экологических программ. Отметим, что результаты исследования открывают новое теоретическое направление в исследовании проблем устойчивого развития.

Ключевые слова: дополнительные валюты, партнерство, инновации, социальная и солидарная экономика, сотрудничество, репутация, дополнительные денежные системы, экосистемы, устойчивое развитие

Для цитирования: Зенкина Е.В. 2022. Финансовые инновации развития социальной и солидарной экономики. Экономика. Информатика. 49(1): 59–66. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-59-66



Financial innovations of social and solidarity economy development

Elena V. Zenkina

Russian State University for the Humanities
6 Miusskaya Sq, Moscow, GSP-3, 125993, Russia
E-mail: evzenkina@mail.ru

Abstract. There are a number of economic projects of social economy based on the principles of fraternity, solidarity, uniting free and equal before the law citizens, erasing the boundaries between the economic and social aspects of society. Given the growing urbanization, the breakdown of traditional ties, the spread of individualism, the dominance of material values and the atomization of society, the additional monetary systems considered in the article act as a tool that restores social ties and unites people into social networks to counteract social exclusion, and, in general, allows us to build a solidarity and horizontal society. It's an effective tool for social engineering. The concept of solidarity occupied an important place in the history of Russian thought. However, in modern Russia, in our opinion, the practices of a solidarity and social economy (SSE) could become an effective help in such areas as environmentally balanced development, revival of economic activity and recovery of the social climate in depressed regions, as well as in general the driver of the development of social capital. This article considers the aspect of financial innovation of the development of SSE - this is an increase in the means of exchange available to the population within an individual community. In particular, such as: time banks, local trade exchange systems (LETS). The research hypothesis is to analyze how the sustainability of the territory can be enhanced by using different monetary systems that act as a tool that restores social ties and unites people. The research approach is based on a comparison of the first generation of additional currencies, the device of the second generation: time banks and the third generation of complementary currencies, which thus contributes to an understanding of the growth of the social and solidarity economy at present. As a result of the study, it was proved that the additional currencies of the fourth generation not only form (promote) social ties between people, but are also used in the implementation of social and environmental programs. Note that the results of the study open a new theoretical direction in the study of problems of sustainable development.

Keywords: additional currencies, partnership, innovation, social and solidarity economy, cooperation, reputation, additional monetary systems, ecosystems, sustainable development.

For citation: Zenkina E.V. 2022. Financial innovations of social and solidarity economy development. Economics. Information technologies. 49(1): 59–66 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-59-66

Введение

В июле 2014 года так называемый закон Б. Хамона о социальной экономике и экономике¹ солидарности [Биглова, 2018] открыл новые возможности, признав в его статье 16 «дополнительные ценные бумаги в местной валюте». Это беспрецедентное международное признание имело место во время работы «Исследовательской миссии по дополнительным местным валютам и местным системам обмена» под руководством Жана-Филиппа Маньена и Кристофа Фуреля, окончательный отчет которой был опубликован в апреле 2015 года (Magnenand Fourel, 2015). Эта статья закона была направлена на обеспечение юридической безопасности опыта введения дополнительных местных валют, который проходил с начала 2010-х годов во Франции, подхватив опыт начала 1990-х годов в США.

Дело в том, что дополнительные валюты часто разрабатываются специально для решения конкретных вопросов или проблем, например, улучшения кооперации, развития малого и

¹ Закон № 2014-856 от 31 июля 2014 г. «О социальной экономике и экономике солидарности», *Légifrance*. Речь идет о принятом во Франции законе, где дается определение социальной и солидарной экономики, являющейся «способом предпринимательства и экономического развития, адаптированным ко всем сферам деятельности человека». Он направлен, в частности, на создание правовой базы, позволяющей установить конкретное финансирование SSE со стороны участников солидарного финансирования, фондов или даже местных сообществ.

среднего предпринимательства, активизация местного рынка, снижение потребности в национальной валюте, что направлено на развитие общин. Эти валюты предназначены для ежедневного потребления местными жителями и, следовательно, основаны на их признании местными предприятиями и предпринимателями. Они пропагандируют формы территориального закрепления производственной и коммерческой деятельности, способствуют процессу экономических и социальных преобразований, что приводит к повышению устойчивости территории.

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 первого поколения дополнительных валют, устройства второго поколения: банков времени и третьего поколения взаимодополняющих валют, что, таким образом, способствует пониманию роста сферы социальной и солидарной экономики в настоящее время.

Теоретическая основа исследования

Первое поколение дополнительных валют, появившееся с использованием модели LETS, Local Exchange Trading Systems, в 1980-х годах, было особенно активным до 1990-х годов [Aldridge Theresa J., Patterson Alan, 2002].

Инициированное канадскими летами, движение, основанное на применении дополнительных валют, распространилось в Великобритании, а затем во Франции с помощью les SEL (местной торговой системы). Эти дополнительные валюты, в большинстве случаев, бывают основаны на времени (времени действия) [Bernard Lietaer, 2004].

В этом первом поколении также заметна роль аргентинского trueque. Он разворачивается в автономном пространстве в форме регулярных ярмарок, проводимых волонтерами. Чтобы торговать на ярмарке, нужно присоединиться, пройти обучение работе *podo* (местного клуба) и получить ваучеры (бумажные деньги), которые позволяют совершать первые обмены. Предпочтение отдается производству самими пользователями, которые становятся «покупателями», то есть как производителями (таким образом, получая внутреннюю валюту), так и потребителями (таким образом, тратя эту валюту) [Bernard Lietaer, 2001].

Чтобы соответствовать характеристике валют, упомянутых Жеромом Бланом в его исследовании о сосуществовании множества валют, характерной чертой этих валют является то, что они формально неконвертируемы, то есть невозможно произвести конвертацию из дополнительной валюты в национальную. Они также являются так называемыми валютами «взаимного кредита», то есть без предварительного создания валюты: счета участников, участвующих в обмене, одновременно зачисляются (для того, кто оказывает услугу) и списываются (для того, кто получает услугу).

Таким образом, это в основном непрофессиональные обмены, направленные на оказание взаимной помощи между отдельными лицами. Однако введение дополнительных валют возможно при партнерских отношениях с местными органами власти. Подчеркнем, что местные валюты не могут использоваться за границей, и они всегда циркулируют локально, принося пользу именно местной экономике [Мировая экономика, 2019; Мировая экономика и международные экономические отношения, 2021]. Если отбросить исключительный случай в Аргентине, эти устройства первого поколения неуклонно набирали обороты: в 2012 году их было зарегистрировано 1412 [Seyfang Gill, 2002].

Далее, немного подробнее об устройствах второго поколения: так называемых банков времени: валют, способных поддерживать местный бизнес, испытывающий нехватку нацио-



нальной валюты¹. Подобно LETS и sales «банки времени "устанавливают валюты" взаимного кредита», но эти обмены сосредоточены исключительно на услугах (в отличие от 1-го поколения), в то время как их учет осуществляется на основе времени, затраченного на их предоставление [Lee, S., 2020]. Обмены соблюдают строгий принцип равенства: один час равен одному часу независимо от того, какую услугу вы предоставляете. У каждого участника есть «тайм-аут», в котором учитываются полученные и оказанные услуги.

В отличие от большинства видов опыта, подобных LETS, банки времени могут поддерживать тесные связи с местными органами власти или организациями социальной и солидарной экономики для достижения социальных целей (форм местной социальной взаимопомощи) и неэкономических целей. Это относится к итальянским или британским временным банкам. Это второе поколение дополнительных валют успешно существовало благодаря Квебекской модели предоставления услуг, которая сочетает в себе обмен временем и коллективными услугами с целью борьбы с отчуждением и бедностью. В 2012 году наблюдалось 1715 банков времени [Seyfang Gill, 2002].

Третье поколение взаимодополняющих валют начинается с Ithaca Hour, валюты, созданной в 1991 году, с учетом провала внедрения LETS и ограничений, обусловленных принципом взаимного кредитования для разработки транзакций с участием профессиональных поставщиков. Этот тип валюты (наиболее известной валютой которого является Химгауэр) переживает второе дыхание с начала 2000-х годов в общинных банках по образцу Банка Пальмас [Jeffrey Jacob, Brinkerhoff Merlin, Jovic Emily, Wheatley Gerald, 2002]. Итацкие Часы должны были не только стать дополнительным инструментом финансирования бизнеса, но и повышения покупательной способности жителей города, через предоставление им возможности зарабатывать Часы, в рамках взаимного обмена товарами и услугами. Идея состояла в том, чтобы создать бумажные денежные единицы, способные поддерживать местный бизнес, испытывающий нехватку национальной валюты.

Лишь немного позже Химгауэр появляются в Великобритании с местными валютами нескольких «городов с переходной экономикой», в том числе в Тотнесе, Брикстоне и Бристоле. Тем временем подобная модель дополнительных денег появилась во Франции (вместе с окситаном в Пезене и пчелой в Вильнев-сюр-лот) в самом начале 2010 года. Динамика создания дополнительных новых валют во Франции соответствует этой модели, и в 2017 году в настоящее время проводится около сорока экспериментов, включая eusko и эквивалентное количество проектов. В настоящее время в мире насчитывается около 200 местных валют [Bank for International Settlements, 2021].

Результаты исследования

Местные валюты представляют собой третье поколение более широкого движения ассоциативных денежных инноваций, рожденных в 1980-х годах и не имеющих аналогов в истории индустриальных обществ [Кроль, 2020]. Повторим, что первым поколением было LETS (локальные системы обмена и торговли), из которых SEL (локальные системы обмена) были французской адаптацией с 1994 года, а временные банки были вторым поколением, адаптированным во Франции. Несмотря на то, что во второй половине 1990-х годов SEL переживали быстрый рост, их модель исчерпала себя, и сегодня она потеряла способность подвергаться сомнению категории богатства, обмена и денег. Размышления и эксперименты с местными денежными средствами теперь в большей степени строятся вокруг проектов в

¹ Например, валюты Deli dollars, запущенной владельцем популярного гастрономического ресторана Deli в Нью Берингтоне (штат Массачусетс). Deli dollars выступили по сути как инструмент кредитования ресторана его клиентами. Владелец Deli, не получив банковский кредит на расширение ресторана, обратился к своим постоянным клиентам с предложением купить купюры Deli dollars за 8 долларов, и получить возможность обменять их в течение года на обслуживание в ресторане стоимостью 10 долларов. За 30 дней, владелец ресторана смог продать созданных им дополнительных денежных единиц на сумму в 5 тысяч долларов.

местной валюте. Таким образом, именно в отношении местных валют: на что способны эти устройства, и при каких условиях они могли бы развиваться дальше.

В отличие от предыдущих двух моделей, для третьего поколения дополнительных валют характерно то, что существует фиксированная эквивалентность обмена местной валюты с национальной валютой и, таким образом, устанавливаются формы конвертируемости [Малинина, 2009]. Эмиссия в местной валюте покрывается эквивалентным резервом в национальной валюте. Вход в систему облегчается тем фактом, что эти валюты привязаны к евро и всегда торгуются по паритету. Таким образом, в отличие от предыдущих устройств, необходимо конвертировать официальную валюту в местную валюту, чтобы затем ее можно было использовать в денежной сети. Если выезд путем конвертации местной валюты в национальную валюту не всегда принимается, когда это принято, как правило, только для поставщиков услуг, штрафы за выезд направлены на ограничение рисков массовой перепродажи местной валюты. Они также принимают бумажную форму, хотя постепенно появляются цифровые версии, дополняющие их тираж. Хотя все эти местные валюты можно использовать в сочетании с национальной валютой, все равно есть стремление к тому, чтобы их усовершенствовать и сделать более эффективными в управлении ими, в экономическом воздействии своей деятельности и в своих отношениях с социально-экономическим миром [EASPD, 2020].

Дополнительные валюты предназначены для ежедневного потребления местными жителями и, следовательно, основаны на их признании местными предприятиями и предприятиями. Они пропагандируют формы территориального закрепления производственной и коммерческой деятельности и иногда заявляют, что стремятся к их «перемещению». В основе размышлений, приведших к их внедрению, действительно лежит стремление начать процесс экономических и социальных преобразований для будущего общества на основе действий граждан, начатых в рамках восходящей логики, чтобы повысить устойчивость территории к потрясениям [Itçaina, X.; Richez-Battesti, N., 2018; Stryabkova E.A., Vladyka M.V., Lyshchikova J.V., Kochergin M.A., Rzayev A.Y., 2021].

Отметим, что, учитывая растущую урбанизацию, распад традиционных связей, распространения индивидуализма, доминирования материальных ценностей и атомизации общества, такие денежные системы выступают в качестве инструмента, восстанавливающего социальные связи и объединяющие людей в социальные сети, чтобы противодействовать социальной изоляции, и, в целом, позволяющие выстраивать солидарное и горизонтальное общество. Это эффективный инструмент социальной инженерии.

Такая экономическая ориентация и забота об эффективности и зрелости все чаще приводят к поиску адекватного сотрудничества [Mendoza, J., Roman, C., Hernandez, M., 2019]. Кстати, в этом отношении решающее значение могут иметь партнерские отношения с местными банками (например, с муниципальным кредитом в случае фиолетовой почвы в Тулузе) или с местными органами власти (как в случае с бристольтским фунтом).

Четвертое поколение дополнительных валют начало появляться в начале 2000-х годов. Его особенность заключается в том, что в них больше, чем раньше, учитывалась экологическая забота. Мультиплексивность этих проектов еще больше усложняет необходимую инженерную работу их функционирования и вынуждает искать дорогостоящие технические решения [Ellen MacArthur Foundation, 2020]. Это также приводит к установлению сложных партнерских отношений, которые сближают местные органы власти, экономические субъекты и национальные или даже европейские организации или программы, а также к экспериментированию, прежде чем приступить к более широкому масштабу [Stryabkova E.A., Glotova A.S., Titova I.N., Lyshchikova J.V., Chistnikova I.V., 2018].

Цель этих валют состоит в том, чтобы оценивать так называемое добродетельное поведение, ЭКО-жесты или эко-поведение или даже акты ответственного потребления, в то же время обычно связанные с торговыми обменах [Bastida, M.; Vaquero, A.; Cancelo, M.; Oliveira, A., 2020].



Например, Eсо-iris преследовала двойную цель: с одной стороны, поощрение устойчивого поведения, благоприятного для окружающей среды и людей, а с другой стороны, поддержка местного экономического развития. Но цель проекта также заключалась в том, чтобы стимулировать создание связей и социальную сплоченность. Столичный регион Брюссель инициировал и профинансировал внедрение этого механизма в начале 2012 года. Чтобы получить эко-ирисы, граждане должны были выполнить ранее определенные экологические жесты, такие как использование общественного транспорта, снижение стоимости электроэнергии или потребления воды, участие в коллективном создании огорода, использование опоры дерева, покупка велосипеда и т. д. После того, как Эко-iris получены, гражданин может тратить в отношении товаров и / или услуг у магазинов-партнеров (питание, здоровье, одежда, лечение, строительство, сделай сам, украшение и т.д.). В Бельгии появились другие устройства, такие как Toreke или e-portemonee [Spear, R.; Defourny, J.; Laville, J.L., 2018]. В целом таких систем остается немного, если они оказываются громоздкими для установки как с финансовой точки зрения, так и с точки зрения требуемой инженерии: их насчитывалось около десяти во всем мире.

Заключение

Взаимодополняющие валюты разнообразны как по своей денежной структуре, так и по мобилизованным средствам и применяемым подходам [Зенкина, 2017; Зенкина, 2020]. Однако у них есть общие возможности в отношении территориальных проблем. С территориальной точки зрения, считаем, что основные задачи, на которые нацелены эти валюты, можно обобщить следующим образом: территориализация деятельности, активизация торговли и трансформация практики образа жизни и социальных представлений [Gallego-Bono, J.R.; Chaves-Avila, R., 2019; Salathé-Beaulieu, G.; Bouchard, M.J.; Mendell, M., 2019].

Прежде всего, следует подчеркнуть, что в любом дополнительном валютном проекте цели должны быть в центре процесса создания, внедрения и разработки таких механизмов [Pape, U.; Brandsen, T.; Pahl, J.B.; Pieliński, B.; Baturina, D.; Brookes, N.; Chaves-Avila, R.; Rentzsch, C.; Savall, T., 2020]. И эти цели определяют многие организационные и денежные характеристики. Поскольку гибкость валюты позволяет адаптировать ее к целям, определенным заинтересованными сторонами, то интеграция дополнительных валют на территории открывает различные возможности для развития, характер которых зависит от политического, социального и операционного выбора, сделанного при настройке дополнительных валют, а затем последующем контроле за их внедрением, и мобилизованных средств (людских, институциональных, финансовых, технических).

Список источников

- Кроль М. 2020. Дополнительные денежные системы. Режим доступа: <https://www.cloudwatcher.ru> (дата обращения: 15 февраля 2022)
- Мировая экономика. 2019. Щербанин Ю.А., Зенкина Е.В., Толмачев П.И., Грибанич В.М., Дрыночкин А.В., Королев Е.В., Кутовой В.М., Логинов Б.Б. Москва: ООО "Издательство "Юнити-Дана", 503 с.
- Мировая экономика и международные экономические отношения. 2021. Абрамова А.В., Алёшин Д.А., Апанович М.Ю., Арапова Е.Я., Булатов А.С., Волков А.М., Габарта А.А., Галищева Н.В., Горбанев В.А., Дегтерева Е.А., Дегтярева О.И., Елагин Д.П., Жданов С.В., Завьялова Е.Б., Зарицкий Б.Е., Зенкина Е.В., Иванова Н.А., Исаченко Т.М., Кавешников Н.Ю., Калашников Д.Б. и др. Учебник. Москва, Сер. Бакалавриат (4-е издание, переработанное и дополненное).
- Bank for International Settlements. 2021. Global liquidity: selected indicators, BIS website, <http://www.bis.org/statistics/gli.htm>
- EASPD (European Association of Service Providers with Persons with Disabilities). 2020. COVID-19: how social enterprises are fighting back! <https://www.easpd.eu/en/content/covid-19-how-social-enterprises-are-fighting-back>.

Ellen MacArthur Foundation (n.d.). 2020. What is the circular economy?
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>

Список литературы

- Биглова Г.Ф. 2018. Социализация экономики: от проблемы собственности до гуманизации труда. *Финансовый журнал*, 3: 121–130.
- Зенкина Е.В. 2020. В поисках новых инструментов стимулирования экономического развития. *Инновации и инвестиции*, 5: 38–41.
- Зенкина Е.В. 2017. Новые контуры финансового рынка XXI века. *Вопросы новой экономики*, 4(44): 37–42.
- Малинина Е.В. 2009. Эффективность национальной политики в условиях финансовой глобализации: валютный аспект. *Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право*, 3: 228–236.
- Aldridge Theresa J., Patterson Alan. 2002. LETS Get Real: Constraints on the Development of Local Exchange Trading Schemes. *Area*, 34(4): 370–381.
- Bastida, M.; Vaquero, A.; Cancelo, M.; Oliveira, A. 2020. Fostering the Sustainable Development Goals from an Ecosystem Conducive to the SE: The Galician's Case. *Sustainability*, 12: 500.
- Bernard Lietaer. 2004. Urges the Growth of New Currency. *Bank Technology News*, Jul. 1st, available at: accessmylibrary.com. (accessed: 10.02.2022).
- Bernard Lietaer. 2001. *The Future of Money*. Random House, 2001.
- Chaves R.; Monzón J.L. 2018. The social economy facing emerging economic concepts: Social innovation, social responsibility, collaborative economy, social enterprises and solidarity economy. *CIRIEC España Rev. Econ. Pública Soc. Coop.*, 93: 5–50.
- Gallego-Bono J.R.; Chaves-Avila R. 2019. How to boost clusters and regional change through cooperative social innovation. *Econ. Res. Ekon. Istraživanja*. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2019.1696694>
- Itçaina X.; Richez-Battesti N. 2018. (Eds.), *Social and Solidarity-based Economy and Territory*. In *From Embeddedness to Co-Construction*; CIRIEC and Peter Lang Publishers: Brussels, Belgium.
- Jeffrey Jacob, Brinkerhoff Merlin, Jovic Emily, Wheatley Gerald. 2002. The Social and Cultural Capital of Community Currency. *An Ithaca HOURS Case Study Survey*. *International Journal of Community Currency Research*, 8: 43–55.
- Lee S. 2020. Role of social and solidarity economy in localizing the sustainable development goals. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.*, 27: 65–71.
- Mendoza J., Roman C., Hernandez M. 2019. Social Economy and Public Procurement: The reserved procurements tool. *CIRIEC España Rev. Econ. Pública Soc. Coop.*, 97: 213–244.
- Pape U., Brandsen T., Pahl J.B., Pieliński B., Baturina D., Brookes N., Chaves-Avila R., Rentzsch C., Savall T. 2020. Changing policy environments in Europe and the resilience of the third sector. *VOLUNTAS Int. J. Volunt. Nonprofit Organ.*, 31: 238–249.
- Salathé-Beaulieu G., Bouchard M.J., Mendell M. 2019. Sustainable Development Impact Indicators for Social and Solidarity Economy: State of the Art; UNRISD Working Paper 2019-4; United Nations Research Institute for Social Development (UNRISD): Geneva, Switzerland.
- Seyfang Gill. 2002. Tackling social exclusion with community currencies: learning from LETS to Time Banks. *International Journal of Community Currency Research*, 6(3): 1–11.
- Spear R.; Defourny J.; Laville J.L. 2018. (Eds.) *Tackling Social Exclusion in Europe: The Contribution of the Social Economy*; Routledge: London, UK.
- Stryabkova E.A., Glotova A.S., Titova I.N., Lyshchikova J.V., Chistnikova I.V. 2018. Modeling and forecasting of socio-economic development of the region. *The Journal of Social Sciences Research*, 5: 404–410.
- Stryabkova E.A., Vladyka M.V., Lyshchikova J.V., Kochergin M.A., Rzayev A.Y. 2021. Smart specialization as a comprehensive territorial and sectoral approach to determining regional development priorities. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 5(53): 1353–1370.

References

- Biglova G.F. 2018. Socialization of the economy: from the problem of property to the humanization of labor. *Financial Journal*, 3: 121–130 (in Russian).
- Zenkina E.V. 2020. In search of new tools to stimulate economic development. *Innovation and investment*, 5: 38–41 (in Russian).



- Zenkina E.V. 2017. New contours of the financial market of the XXI century. *Issues of the new economy*, 4 (44): 37–42 (in Russian).
- Malinina E.V. 2009. The effectiveness of national policy in the context of financial globalization: the currency aspect. *Bulletin of the Russian State University. Series: Economics. Management. Right*, 3: 228–236 (in Russian).
- Aldridge Theresa J., Patterson Alan. 2002. LETS Get Real: Constraints on the Development of Local Exchange Trading Schemes. *Area*, 34(4): 370–381.
- Bastida, M.; Vaquero, A.; Cancelo, M.; Olveira, A. 2020. Fostering the Sustainable Development Goals from an Ecosystem Conducive to the SE: The Galician's Case. *Sustainability*, 12: 500.
- Bernard Lietaer. 2004. Urges the Growth of New Currency. *Bank Technology News*, Jul. 1st, available at: accessmylibrary.com. (accessed: 10.02.2022).
- Bernard Lietaer. 2001. *The Future of Money*. Random House, 2001.
- Chaves R.; Monzón J.L. 2018. The social economy facing emerging economic concepts: Social innovation, social responsibility, collaborative economy, social enterprises and solidarity economy. *CIRIEC España Rev. Econ. Pública Soc. Coop.*, 93: 5–50.
- Gallego-Bono J.R.; Chaves-Avila R. 2019. How to boost clusters and regional change through cooperative social innovation. *Econ. Res. Ekon. Istraživanja*. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2019.1696694>
- Itçaina X.; Richez-Battesti N. 2018. (Eds.), *Social and Solidarity-based Economy and Territory*. In *From Embeddedness to Co-Construction*; CIRIEC and Peter Lang Publishers: Brussels, Belgium.
- Jeffrey Jacob, Brinkerhoff Merlin, Jovic Emily, Wheatley Gerald. 2002. The Social and Cultural Capital of Community Currency. An Ithaca HOURS Case Study Survey». *International Journal of Community Currency Research*, 8: 43–55.
- Lee S. 2020. Role of social and solidarity economy in localizing the sustainable development goals. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.*, 27: 65–71.
- Mendoza J., Roman C., Hernandez M. 2019. Social Economy and Public Procurement: The reserved procurements tool. *CIRIEC España Rev. Econ. Pública Soc. Coop.*, 97: 213–244.
- Pape U., Brandsen T., Pahl J.B., Pielí'nski B., Baturina D., Brookes N., Chaves-Avila R., Rentzsch C., Savall T. 2020. Changing policy environments in Europe and the resilience of the third sector. *VOLUNTAS Int. J. Volunt. Nonprofit Organ.*, 31: 238–249.
- Salathé-Beaulieu G., Bouchard M.J., Mendell M. 2019. Sustainable Development Impact Indicators for Social and Solidarity Economy: State of the Art; UNRISD Working Paper 2019-4; United Nations Research Institute for Social Development (UNRISD): Geneva, Switzerland.
- Seyfang Gill. 2002. Tackling social exclusion with community currencies: learning from LETS to Time Banks. *International Journal of Community Currency Research*, 6(3): 1–11.
- Spear R.; Defourny J.; Laville J.L. 2018. (Eds.) *Tackling Social Exclusion in Europe: The Contribution of the Social Economy*; Routledge: London, UK.
- Stryabkova E.A., Glotova A.S., Titova I.N., Lyshchikova J.V., Chistnikova I.V. 2018. Modeling and forecasting of socio-economic development of the region. *The Journal of Social Sciences Research*, 5: 404–410.
- Stryabkova E.A., Vladyka M.V., Lyshchikova J.V., Kochergin M.A., Rzayev A.Y. 2021. Smart specialization as a comprehensive territorial and sectoral approach to determining regional development priorities. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 5(53): 1353–1370.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Зенкина Елена Вячеславовна, доктор экономических наук, доцент, заведующая кафедрой мировой экономики, Российский государственный гуманитарный университет, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Elena V. Zenkina, Dr. of Sci. (Economy), Associate Professor, Head of the Department of World Economics, Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia



ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

УДК 332.142; 342.552

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-67-78

Экономические аспекты новой Стратегии национальной безопасности Российской Федерации

Бухвальд Е.М.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт экономики Российской академии наук
Россия, 117218, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 32
E-mail: buchvald@mail.ru

Аннотация. До настоящего времени не удалось добиться органичной интеграции стратегических документов по национальной безопасности в единую практику стратегического планирования на всех уровнях управления. Содержащееся в действующем законодательстве указание на стратегию безопасности как один из ключевых документов стратегического планирования, по сути, не реализуется. Стратегированию национальной безопасности посвящено значительное число научных работ, однако пути согласования документов национальной безопасности и по социально-экономическому развитию в целом все еще остаются недостаточно исследованными. Целью работы выступает анализ возможностей проекции экономических параметров безопасности на иные документы стратегического планирования. В методологическом аспекте основой работы являются исследования по экономико-правовым проблемам национальной, в т. ч. экономической безопасности, сформулированные в работах Л.И. Абалкина, В.К. Сенчагова, С.Ю. Глазьева и других авторов.

Ключевые слова: национальная экономическая безопасность, стратегическое планирование, экономический рост; социальные аспекты стратегирования, политика регионального развития

Для цитирования: Бухвальд Е.М. 2022. Экономические аспекты новой стратегии национальной безопасности Российской Федерации. Экономика. Информатика. 49(1): 67–78. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-67-78

Economic aspects of a new Strategy of national security of the Russian Federation

Evgeniy V. Buchwald

Federal State Budgetary Institution of Science
Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences
32 Nakhimovsky Ave, Moscow, 117218, Russia
E-mail: buchvald@mail.ru

Abstract. By the moment, it appeared not possible to achieve an organic integration of strategic documents on national security into the single practice of strategic planning at all levels of government. The reference to the security strategy as one of the key documents of strategic planning, containing in the current legislation, in fact, has not being implemented. A significant number of scientific papers were devoted to the strategizing of national security, but the problem of coordinating security and socio-economic development in general still remains insufficiently studied. The purpose of this work is to analyze the practical possibilities of integrating economic parameters of the security strategy in other documents in the sphere of socio-economic strategizing. In the methodological aspect the basis of the given paper is the research on economic and legal



problems of national, including economic security, formulated in the works of L.I. Abalkin, V.K. Senchagov, S.Yu. Glaziyev and other authors.

Keywords: national and economic security, strategic planning, economic growth; social aspects of strategizing, regional development policy

For citation: Buchwald E.M. 2022. Economic aspects of the New National Security Strategy of the Russian Federation. Economics. Information technologies. 49(1): 67–78 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-67-78

Введение

Принятие в 2021 г. новой Стратегии национальной безопасности Российской Федерации [Указ Президента РФ № 400, 2021 г.] (далее – СЭБ-2021) отражает не только установленное законом формальное требование об обновлении подобного рода документов не реже одного раза в 6 лет. Следует принять во внимание и очевидную необходимость добиться более четкого раскрытия наиболее актуальных в настоящее время угроз для безопасного развития страны. Речь идет как об угрозах, уже отмечавшихся ранее, так и проявивших себя в последнее время. Действующее законодательство определяет стратегии безопасности как одну из ключевых основ для всей системы документов стратегического планирования. Однако для осуществления этой функции стратегии безопасности должны отвечать определенным требованиям, в числе которых актуальность фиксируемых рисков и угроз для безопасности страны; конкретное раскрытие условий реализации этих рисков и угроз, включая соответствующие количественные и качественные параметры. Сюда также следует отнести такое требование, как достаточно определенное указание на меры государственной политики, способные «отвести» эти угрозы и риски и минимизировать их возможный негативный эффект, в т. ч. экономического и социального характера. Это ставит задачу оценить, насколько названные требования реализуются в новой стратегии безопасности, какие новации наиболее востребованы в системе документов по безопасности, какие изменения и дополнения необходимы для придания этим документам ключевой роли в практике стратегического планирования и в реализации национальных целей развития [Указ Президента РФ № 474, 2020]. Наконец, важное значение имеет своевременная актуализация законодательной базы в сфере обеспечения национальной и экономической безопасности, которая представлена, прежде всего, ФЗ № 390 [Федеральный закон «О безопасности», 2010].

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступают основные условия и механизмы обеспечения национальной, в т. ч. экономической безопасности Российской Федерации. Формально, определения основных понятий безопасности и содержащихся здесь угроз и рисков содержатся в действующем целевом законе и в двух ключевых стратегических документах по безопасности. Это – появившийся в 2021 г. обновленный вариант Стратегии национальной безопасности и принятая в 2017 г. и Стратегия экономической безопасности Российской Федерации до 2030 г. [Указ президента РФ № 208 2017 г.] (далее – СЭБ-2017). Надо сказать, что эти стратегии, близкие по своей целевой функции, на деле имеют различный правовой статус. Основные требования к Стратегии национальной безопасности, хотя и в очень общем виде, закреплены в ФЗ № 390 «О безопасности» и в ФЗ № 172 «О стратегическом планировании...» (Федеральный закон № 172 2014 г.). В свою очередь, Стратегия экономической безопасности официального статуса документа стратегического планирования не имеет – ни в одном из названных выше законодательных документов она вообще не упоминается.

В настоящее время экономический блок в СНБ-2021 несколько расширен и дополнен по сравнению с аналогичным разделом ранее действовавшего документа [Указ Президента Российской Федерации № 683 2015 г.] (далее СНБ-2015), но в целом содержательно по кругу

рассматриваемых вопросов уступает действующей Стратегии экономической безопасности (СЭБ-2017). В этой связи в ходе научных дискуссий возникли определенные сомнения: является ли экономическая безопасность особым объектом исследования и управления или это просто «фрагмент» из теории и практики обеспечения национальной безопасности в целом. Соответственно, при подготовке СНБ-2021 также имели место дискуссии относительно того, стоит ли существенно расширить экономический блок этого документа (тогда Стратегия экономической безопасности более не принимается) или Стратегия экономической безопасности должна «работать» и далее, но при условии ее включения в орбиту законодательного регулирования [Редкоус, 2021].

Текст СНБ-2021, как будет отмечено ниже, указывает на отсутствие четкой позиции по документальному оформлению стратегирования национальной безопасности в перспективе – с или без Стратегии экономической безопасности. Гипотезой исследования в данной статье является позиция о безальтернативности «мощного» экономического блока СНБ, что требует конкретности и информативности этого блока, а также параллельного использования в работе методов сравнительного экономического и правового анализа.

Обе стратегии национальной безопасности – предшествующая и действующая – не содержат (в качестве элемента понятийного аппарата) определения экономической безопасности как целостного научного и практически конкретного феномена и трактуют его только по отдельным составляющим [Касьмова, 2021]. Однако такое определение есть в СЭБ-2017. Этот документ определяет экономическую безопасность (т. е. по сути совокупность экономических аспектов национальной безопасности в целом) как «состояние защищенности национальной экономики от внешних и внутренних угроз, при которой обеспечивается экономический суверенитет страны, единство ее экономического пространства, условия для реализации стратегических национальных приоритетов Российской Федерации». С экономической точки зрения СНБ-15 включала в число ключевых факторов национальной безопасности «устойчивое социально-экономическое развитие Российской Федерации». В СНБ-21 этот тезис в целом был повторен, правда, с изъятием проблемного определения «устойчивое». Однако в настоящее время критическое значение имеет не только содержательная сторона экономического блока СНБ-2021, но и то, как она вписывается в современную систему управления социально-экономическими процессами в стране, прежде всего, на основе использования принципов и методов стратегического планирования.

Результаты и их обсуждение

Национальная безопасность как объект управления и стратегирования

Несмотря на нашу позицию о необходимости сохранить, законодательно закрепить и далее совершенствовать такой документ стратегического планирования как СЭБ, это не дает нам оснований полагать, что экономический блок СНБ может иметь второстепенный характер. Этот блок также нуждается в постоянной корректировке, что в целом должно обеспечить системность представлений об условиях (факторах) национальной безопасности, включая и совокупность необходимых для этого социально-экономических предпосылок [Андрианов, 2021]. Зарубежные исследователи также отмечают относительное возрастание значимости экономических компонентов экономической безопасности [Mazarr, 2016]. В этом направлении движется и зарубежная практика государственного управления [Ананьева, Годованюк, 2021; Братов, 2021].

Однако применительно к изложению данного круга проблем в СНБ-2021 есть ряд особенностей, на которые уже рассматривались российскими экспертами [Неймарк, 2021] и на которые следует обратить особое внимание.

Во-первых, сравнивая два документа – СНБ-2015 и СНБ-2021 – исследователи обратили внимание, что в документе 2021 г. основные новации коснулись, прежде всего, внешнеполитических и внешнеэкономических аспектов безопасности страны. При этом «внутрен-



ние» социально-экономические слагаемые этой безопасности (при их некоторой перегруппировке, на которую мы обратим внимание далее) в принципе существенному обновлению и дополнению не подверглись [Ильин, Морев, 2021]. В целом такой тренд эволюции документов по безопасности во многом представляется закономерным. Внешние – политические и экономические – условия национальной безопасности Российской Федерации в последнее время эволюционируют достаточно быстро, причем очевидно в сторону усиления содержащихся здесь вызовов и угроз. Связанные с этим риски для национальной безопасности страны неизбежно серьезно расширяются и модифицируются, что и нашло отражение в СНБ-2021. Напротив, за 6 лет действия СПБ-2015 г. социально-экономическая ситуация в стране радикальных изменений не претерпела: какие проблемы и риски имели место, те в основном и сохранились. По сути эти годы экономика страны «топталась на месте», а жизненный уровень населения в течение ряда лет показывал тренд снижения. В этом смысле потенциально возможные угрозы безопасности и наиболее значимые пути преодоления этих угроз, представленные в СНБ-2015, к рубежу 2021 г. особой модификации не подверглись. Можно сказать, что такой источник рисков, отмеченный в СНБ-2015, как «неблагоприятная динамика развития экономики», в основном «состоялся».

К настоящему времени фокус наиболее значимых потенциальных рисков несколько сместился. Описание стратегических приоритетов и рисков национальной безопасности в СНБ-2021 оказалось под влиянием положений, содержащихся в Указе Президента РФ по национальным целям развития [Указ Президента РФ, 2021]. В этом смысле можно констатировать, что в перспективе основные социально-экономические риски для национальной безопасности Российской Федерации связаны в основном именно с угрозой недостижения национальных целей развития.

Во-вторых, в современных условиях практическая значимость отражения социально-экономических аспектов национальной безопасности определяется не только полной актуальностью этого отражения, но и, как уже было отмечено ниже, его подчинению требованиям формирующейся системе стратегического планирования в стране. Нельзя не обратить внимания на то, что обе стратегии по безопасности – СНБ-2015 и СНБ-2021 – принимались тогда, когда уже действовал ФЗ № 172 о стратегическом планировании [Федеральный закон № 172 2014 г.]. Более того, оба документа характеризуют себя в качестве базового документа стратегического планирования, определяющего национальные интересы и стратегические национальные приоритеты Российской Федерации. Формально это предъявляет этим документам очень высокие требования, которые вполне справедливо соотносить с принципами стратегического планирования, установленными ст. ФЗ № 172 (ст. 7) [Князев, 2021].

Это, в частности, принципы преемственности и сбалансированности системы стратегического планирования; эффективности стратегического планирования; прозрачности (открытости) стратегического планирования; ресурсной обеспеченности; измеряемости целей, основанных на программно-целевом методе их достижения. Однако на деле такого соответствия как не было в СНБ-2015 (Князев, 2021), так нет его и в СНБ-2021. Нет ни преемственности документов (т. е. подведения в СНБ-2021 итогов реализации СНБ-2015); нет ресурсной обеспеченности (не ясно, сколько будет «стоять» реализация стратегии); нет измеряемости целей (они просто не имеют количественного обозначения) и пр. В результате, сегодня значимость стратегий безопасности как «рабочих», тем более, как «базовых» документов стратегического планирования весьма невелика. Более того, в этих условиях само по себе вменение документам по безопасности категории «стратегия» представляется недостаточно обоснованным. Соответственно, и утверждение за документами по безопасности роли «базовых» документов стратегического планирования несет в себе известную долю преувеличения, причем преувеличения неконструктивного характера.

«Базовые» документы стратегического планирования, кроме соответствия названным выше требованиям, должны содержать в себе четкий механизм проекции их основных положений на все иные документы стратегического планирования, включая и их программно-

проектный аппарат. Но в случае со стратегиями безопасности такого соответствия явно не наблюдается. В результате, в случае, если такие стратегии на деле будут использоваться для осуществления каких-либо практических мер государственного регулирования, это само по себе создает риски принятия неэффективных и даже ошибочных управленческих решений. Особенно значимо такие риски проявляют себя в сфере регулирования процессов социально-экономического характера.

Экономический контекст стратегий безопасности и его эволюция

Сказанное выше позволяет сделать вывод, что экономический «блок» Стратегии безопасности остается принципиально важным для успешной реализации функциональной роли этого документа стратегического планирования в силу тесной взаимообусловленности его экономических и внеэкономических составляющих. Формально надо отдать должное: СНБ-2021 неизменно остается на позиции преобладающего значения факторов социально-экономического характера для системного обеспечения требований национальной безопасности. Можно даже сказать, что возникновение тех или иных проблем, трудностей в сфере социально-экономического развития страны часто выступает конечной, результирующей всех иных угроз и рисков для национальной безопасности. Это связано с тем, что риски и угрозы национальной безопасности, как правило, носят системный характер. Факторы «внешнего» и даже внеэкономического характера вполне реально создают дополнительные риски для социально-экономического развития страны (например, через санкционные механизмы) [Козин, Радченко, 2021].

И, напротив, риски «внутреннего» характера (например, низкие темпы экономического роста, технологическое отставание, неадекватность сферы социальных услуг и пр.) способны существенно усилить уязвимость страны перед лицом тех или иных вызовов и угроз извне. Не случайно в СНБ-2021 указано, что «Основными факторами, определяющими положение и роль Российской Федерации в мире в долгосрочной перспективе, становятся высокое качество человеческого потенциала, способность обеспечить технологическое лидерство, эффективность государственного управления и перевод экономики на новую технологическую основу». Это позволяет констатировать, что СНБ-2021 заметно продвинулась в раскрытии системного характера как самих рисков и угроз для страны, так и в определении путей преодоления этих рисков и угроз.

Как мы полагаем, основные новации СНБ-2021 определяются, прежде всего, новым подходом к структуризации этого документа по сравнению с СНБ-2015. Это касается и круга факторов безопасности, непосредственно относящихся к вопросам социально-экономического характера. В СНБ-2015 к социально-экономическим блокам документа можно было отнести следующие разделы: «Повышение качества жизни российских граждан» (пп. 50-54); «Экономический рост» (пп. 55-66); «Наука, технологии и образование» (пп. 67-70); «Здравоохранение» (пп. 71-75); «Культура» (пп. 76-82); «Экология живых систем и рациональное природопользование» (пп. 83-86). Однако при этом в документе отсутствовало обобщающее представление о сути экономической безопасности как объекта управления, а также о взаимозависимости составляющих ее компонентов.

В этом контексте анализ позволяет указать на ряд принципиальных отличий и преимуществ СНБ-2021 по сравнению с аналогичным документом 2015 г. Прежде всего, обращает на себя внимание то, что обсуждение основных слагаемых национальной безопасности начинается с раздела «Сбережение народа России и развитие человеческого потенциала» (пп. 28–33). В данном разделе основной акцент делается на проблемы социально-демографического характера, что в целом отвечает приоритетам национальных целей развития Российской Федерации. Здесь есть некоторые содержательные новации по сравнению с положениями соответствующих разделов СНБ-2015, но, на наш взгляд, они не носят принципиального характера. Например, это ряд закономерно введенных новых постановок, учитывающих уроки пандемии COVID-2019 и усилий по ее преодолению. В частности, это тези-



сы об обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения, о повышении качества и доступности медицинской помощи, включая вакцинацию и лекарственное обеспечение; об обеспечении устойчивости системы здравоохранения, ее адаптации к новым вызовам и угрозам, в том числе, связанным с распространением инфекционных заболеваний, создание резервов лекарственных препаратов и медицинских изделий. При этом из СНБ-2021 по сравнению с СНБ-2015 выведен ряд разделов социальной направленности, что, как мы полагаем, сказалось на конкретности целевых установок этого характера. Это, в частности, такие разделы, как «здравоохранение» и «культура».

Однако наиболее значимой новацией социально-экономического вектора СНБ-2021 стало введение раздела «Экономическая безопасность». Появление такого обобщающего раздела в СНБ-2021 говорит о следующем: есть основания предположить, что в дальнейшем стратегирование безопасности в Российской Федерации может пойти и без особой Стратегии экономической безопасности. Раздел, как уже было отмечено выше, не содержит обобщающего определения экономической безопасности как важнейшей составляющей национальной безопасности в целом. Эта часть СНБ-2017 начинается с достаточно общего описания неких трендов экономического развития в мире и в стране, которые при тех или иных условиях, действительно, могут привести собой угрозы и риски для национальной, и в т. ч. и экономической безопасности страны.

Смысловая нагрузка этого раздела документа представляется очень значимой, учитывая, что период между двумя стратегиями безопасности показал весьма неудовлетворительные результаты социально-экономического характера. Так, за 6 лет до принятия СНБ-2015 (2014 г. к 2008 г.) прирост ВВП России составил 7,1 %. За следующие 6 лет (2020 г. к 2015 г.) этот прирост составил только 3,9 %. Динамика реального объема инвестиций в основной капитал российской экономики за весь этот период была очень неустойчива. Но в целом к 2020 г. этот показатель оставался на уровне 2012–2014 гг. Аналогично выглядит и динамика показателей социального характера (располагаемые доходы населения; реальная заработная плата и пр.). В 2020 г. реальные доходы населения все еще оставались ниже уровня 2013–2015 гг. Такие тенденции еще не «смертельная» угроза, но наряду с недостаточной эффективностью государственного управления, его «проолигархическим» характером – вполне очевидный риск утраты фундамента устойчивого социально-экономического развития страны на достаточно долговременную перспективу [Rothacher, 2021]

Казалось бы, такая ситуация взывала ко включению в СНБ-2021 выводов и рекомендаций очень глубокого, но все же вполне конкретного, конструктивного характера. К сожалению, таких позитивных сдвигов в тексте документа оказалось очень немного. Те тренды социально-экономического развития, которые, по мнению авторов СНБ-2021, способны при тех или иных условиях генерировать угрозы и угрозы для развития страны, во многих случаях представлены настолько неконкретно, что принять их серьезно, как основу для практики социально-экономического стратегирования без дополнительной конкретизации, принципиально невозможно.

Примером может служить неизменная установка Стратегий безопасности на «стимулирование темпов роста экономики, превышающих аналогичные показатели развитых государств» (СНБ-2015); на «создание условий для экономического роста Российской Федерации, темпы которого будут выше мировых» (СНБ-2021 г.). В принципе, можно задаваться подобной целью, ибо только экономический рост, темпы которого будут выше мировых, способен усилить позиции Российской Федерации в мировой экономике. Однако в практике стратегического планирования эта целевая установка бессодержательна: здесь желаемые темпы роста должны определяться их достаточностью для решения основных задач в сфере хозяйственного и социального развития.

Другим примером может служить даваемая в СНБ-2021 установка на «устранение дисбалансов в экономике и территориальном развитии» (п. 64). Это – точный повтор части текста п. 59 СНБ-15. Сразу возникают вопросы: о каких именно дисбалансах идет речь и можно

ли на основе такого явного повтора сделать вывод, что в данной сфере российской экономики за прошедшие 6 лет ничего не изменилось.

Однако не стоит думать, что тренд таких повторов заключен только в пределах СНБ-2015 и СНБ-2021. До этих двух стратегий принималось еще два документа по вопросам национальной безопасности, а именно «Концепция...» 1997 г. [Указ Президента РФ от 17 декабря 1997 г. № 1300] и «Стратегия безопасности» 2009 г. [Указ Президента РФ от 12 мая 2009 г. № 537]. Отсюда, собственно, и «выросла» практика повторяемости одних и тех же тезисов без оглядки на реально происходящие в экономике перемены. Проиллюстрировать этот тезис можно на примере трактовки ключевых вопросов пространственного развития российской экономики.

В Концепции 1997 г. еще нет прямого указания на риски, связанные с трендами пространственного развития российской экономики. Здесь акцент делался на обеспечение единства экономического пространства страны, одним из условий чего является сокращение социально-экономических разрывов между ее регионами. В этом документе также отмечалось, что экономическая дезинтеграция и социальная дифференциация провоцируют усиление напряженности во взаимоотношениях регионов и центра, представляя собой явную угрозу федеративному устройству Российской Федерации (примечательно, что в последующих трех документах по безопасности обращения к проблемам российского федерализма уже не было).

В СНБ-2009 говорилось о таком источнике рисков, как «неравномерное развитие регионов». Соответственно, в документе предполагалось, что эти риски предотвращаются путем проведения рациональной (? – *здесь и далее вопросы наши – Е.Б.*) государственной региональной политики, направленной на улучшение координации (?) деятельности органов государственной власти, органов местного самоуправления, предпринимательского сообщества и институтов гражданского общества. В СНБ-2015 ставилась задача «сокращения уровня межрегиональной дифференциации в социально-экономическом развитии субъектов Российской Федерации путем сбалансированного (*чего с чем?*) территориального развития страны». В СНБ-2021 вновь ставят такую задачу, как «сокращение дифференциации субъектов Российской Федерации по уровню и темпам социально-экономического развития, качеству жизни». На фоне этих повторов закономерно возникает вопрос: неужели за эти годы в сфере регионального развития в стране ничего не изменилось? Между тем, проведенные исследования указывают на различные тренды этой дифференциации, которые в документах стратегического планирования по параметрам экономической безопасности едва ли могут описываться постоянным акцентом на «сокращение». Скорее всего, составители СНБ-2021 просто сочли за излишний труд серьезно проанализировать положение дел с этой стороной регионального развития.

Есть еще один аспект политики национальной безопасности, который так или иначе подчеркнут во всех рассмотренных документах. Это проблема бедности среди населения, которая действительно несет в себе различные угрозы, связанные с деградацией трудового потенциала, с утратой важных факторов национальной конкурентоспособности и пр. Так, в Концепции 1997 г. отмечалось: «Бедность как социальное явление должна быть исключена из жизни российского общества». СНБ-2009 призывала к «сокращению бедности и различий в уровне доходов населения». СНБ-2015 также призывала к «снижению дифференциации населения по уровню доходов, сокращению бедности». Составители СНБ-2021 в свою очередь не смогли избежать ритуального повторения ориентира на «сокращение бедности, снижение уровня социального и имущественного неравенства». И опять возникает ряд вопросов: что-то все-таки изменилось в ситуации с бедностью в Российской Федерации за четверть века и есть ли основания раз за разом повторять одну и ту же установку на «снижение уровня»?

«Пик» бедности в стране пришелся на начало 1990-х гг., когда доля «бедного» населения по действовавшим тогда критериям доходила до 35–40 %. В начале 2021 г. этот показатель составлял 12 % от общего числа населения. Однако критерии бедности (минимального дохода или прожиточного минимума) и методы расчета не остаются неизменными, что



должно быть принято во внимание при включении проблемы бедности в число значимых угроз национальной безопасности. Так, с начала 2021 г. Росстат рассчитывает прожиточный минимум по-новому: на основе не абсолютных показателей дохода (потребления), а на основе относительной картины распределения доходов населения. Ранее «уровень бедности» определялся ежеквартально на основе стоимостной оценки фиксированной потребительской корзины. В настоящее время его величина устанавливается на календарный год и определяется в размере 44,2 % от значения медианы среднедушевого дохода населения за год, предшествующий отчетному периоду.

Что это означает практически? Во-первых, показатель бедности становится еще более управляемым за счет довольно произвольно выбранной процентовки от медианного дохода. Во-вторых, при подобном подходе получается, что бедность вообще неискоренима, ибо в этом случае она исчезнет только при идеально равномерном распределении доходов. Это требует дополнения призывов к сокращению бедности четкими критериями возможности такого сокращения, не говоря о необходимых для этого налоговых и иных инструментах.

Заключение

Анализ показывает, что в целом СНБ-2021 не удалось преодолеть ряд ключевых недостатков СНБ-2015, как и аналогичных документов, принимавшихся ранее, и на деле «подняться» до уровня ключевого документа стратегического планирования в стране. К сожалению, СНБ-2021 во многом еще сохраняет «лозунговый» характер: постановка целей как условий обеспечения безопасности полностью превалирует над утверждением конкретных параметров этих целей и механизмов их достижения [Бухвальд, Валентик, 2021]. Программно-проектный аппарат реализации требований безопасности в лучшем случае упоминается, но никак не детализуется. Отсюда вывод: при чрезвычайно общем характере задаваемых целевых установок и их близкой повторяемости установление законом требования об обновлении СНБ не реже чем раз в 6 лет особого смысла просто не имеет.

Основную роль СНБ мы видим только в описании и классификации вызовов, угроз и рисков по тем или иным сферам или направлениям, как это сделано сейчас. Эта роль, прежде всего, именно в констатации и иллюстрации тесной взаимосвязи и взаимообусловленности всей совокупности вызовов, угроз и рисков, что должно учитываться в государственной политике обеспечения этой безопасности. Особенно это важно с точки зрения аргументации тех экономических параметров безопасности (например, по темпам роста, по динамике инвестиций в основной капитал и пр.), которые обеспечивают достижение приоритетных целей социального развития и, следовательно, общую социальную стабильность в стране. Подобные экономические и социальные параметры часто именуют «пороговыми значениями». Такая задача, как «определение критериев национальной безопасности и их пороговых значений» ставилась еще в Концепции 1997 г. Количественно выраженные «пороговые значения» не только дают реальную возможность мониторинга хода реализаций стратегий безопасности, но и обеспечивают – как фактор целеуказания – основную связь этих стратегий с другими документами стратегического планирования. В этом отношении можно было усмотреть известную связь между СНБ-2009 и известной «Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» (очевидно, что СНБ-2015 и СНБ-2021 такой «опоры» уже не имели).

Однако надо признать, что важная задача количественной фиксации основных «пороговых значений», поставленная еще в 1997 г., не решена в полном объеме и сейчас. Экспертные расчеты, проведенные названными выше и иными российскими учеными, представляют интерес (хотя количественно они во многом не совпадают), но рассматривать их как основу социально-экономического стратегирования в нынешних условиях уже не представляется возможным. Но и сами документы по безопасности остаются в стороне от количественной определенности их целевых («пороговых») значений. В Концепции-1997 «пороговые» значения не обозначались. В СНБ-2021 они изначально представлены не были, но указывалось,

что мониторинг стратегии будет осуществляться «на основе показателей состояния национальной безопасности, определяемых Президентом РФ». Однако из этого положения не ясно, когда будут утверждены эти показатели; будут ли они обнародованы (в пределах данных, не составляющих государственную тайну) и будут ли эти показатели выражены в количественной размерности. Приведенная ниже таблица показывает, какие индикаторы (без количественной размерности) предлагались для оценки ситуации с национальной безопасностью в документах 2009 г. и 2015 г.

Таблица
Table

Показатели для оценки (мониторинга) стратегий
национальной безопасности 2009 г. и 2015 г.
Indicators for the assessment (monitoring)
of national security strategies in 2009 and 2015.

СНБ-2009	СНБ-2015
<ul style="list-style-type: none">* уровень безработицы (доля от экономически активного населения);* децильный коэффициент (соотношение доходов 10 % наиболее и 10 % наименее обеспеченного населения);* уровень роста потребительских цен;уровень государственного внешнего и внутреннего долга в % от ВВП;* уровень обеспеченности ресурсами здравоохранения, культуры, образования и науки в % от ВВП;* уровень ежегодного обновления вооружения, военной и специальной техники;* уровень обеспеченности военными и инженерно-техническими кадрами.	<ul style="list-style-type: none">* удовлетворенность граждан степенью защищенности своих конституционных прав и свобод, личных и имущественных интересов;* доля современных образцов вооружения, военной и специальной техники в Вооруженных Силах РФ;* ожидаемая продолжительность жизни;* ВВП на душу населения;* децильный коэффициент (соотношение доходов 10 % наиболее обеспеченного населения и 10 % наименее обеспеченного населения);* уровень инфляции;* уровень безработицы;* доля расходов в ВВП на развитие науки, технологий и образования;* доля расходов в ВВП на культуру;* доля территории Российской Федерации, не соответствующая экологическим нормативам.

Анализ показателей национальной безопасности в таблице показывает, что помимо отсутствия количественной размерности, они характеризуются еще двумя особенностями. Во-первых, круг этих показателей относительно невелик и не соответствует совокупности отмеченных в СНБ-2009 и СНБ-2015 социально-экономических слагаемых безопасности (нет показателей по инвестициям, по ситуации в банковско-кредитной сфере и сфере государственных финансов и пр.). Во-вторых, формулировка показателей носит слишком общий, так сказать, «неисторический» характер. Например, экономической науке хорошо известно, что один и тот же уровень безработицы и инфляции в одних условиях, действительно, может представлять собой угрозу стабильности и безопасности, а в других обстоятельствах рассматриваться как вполне приемлемый сценарий. Это также должно быть учтено при попытках так или иначе рассчитать соответствующий круг «пороговых значений».

Реализация сформулированных выше требований, позволяющих перевести СНБ из декларативного документа в рабочую программу действий по обеспечению устойчивого и безопасного развития страны, означала бы существенное увеличение объема документа, что едва ли возможно. Это возвращает нас к проблеме соотношения социально-экономического «блока» СНБ и СЭБ. Сегодня эти документы во многом повторяют друг друга. Необходимо перейти к другой модели взаимодействия этих документов. Положения СНБ должны носить общий устанавливающий характер. Соответственно, СЭБ и некоторые другие стратегические документы по безопасности (продовольственной безопасности, информационной безопасности и пр.) должны не повторять общие описательные моменты. Строго следуя структуре



СНБ, эти документы должны детализировать основные установки социально-экономического «блока» СНБ в разрезе конкретных угроз и рисков, их «пороговых значений»; а также правовых предпосылок и программно-проектных инструментов нивелирования этих угроз и рисков и их последствий в практике государственного и муниципального управления. При этом все документы по безопасности должны отвечать реалиям России как государства федеративного типа, т. е. действовать на основе четкого разграничения полномочий Федерации, ее субъектов и органов местного самоуправления, в т. ч. с учетом конституционных новаций 2020 года [Бухвальд, Валентик, 2021]. Все названное выше так или иначе должно найти отражение в обновленной версии ФЗ № 390, которая сегодня представляется крайне востребованной [Климкин, 2021; Мамадбеков, Деникаева, 2021; Миловидова, 2021].

Список источников

- «Концепция национальной безопасности Российской Федерации». Указ Президента Российской Федерации от 17 декабря 1997 г. № 1300. Режим доступа: URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 30.10. 2021).
- «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года». Указ Президента РФ от 12 мая 2009 г. № 537. Режим доступа: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc (дата обращения: 30.10. 2021).
- «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации». Указ Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. № 683. Режим доступа: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191669/ (дата обращения: 30.10. 2021).
- «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации». Указ Президента Российской Федерации от 2 июля 2021 г. № 400. Режим доступа: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389271/ // (дата обращения 30.10. 2021).
- «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года. Указ Президента Российской Федерации от 13 мая 2017 г. № 208. Режим доступа: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_216629/ (дата обращения: 30.10.2021).
- «О безопасности». Федеральный закон от 28 декабря 2010 г. № 390-ФЗ. Режим доступа: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_108546/. (дата обращения: 30.10.2021).
- «О стратегическом планировании в Российской Федерации». Федеральный закон от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ. Режим доступа: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_164841/ (дата обращения 30.10.2021).
- «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года». Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. № 474. Режим доступа: URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74304210/> (дата обращения 30.10.2021).

Список литературы

- Ананьева Е.В., Годованюк К.А. 2021. Стратегия национальной безопасности Великобритании. Аналитические записки Института Европы РАН, 5(235): 1–7.
- Андрианов К.Н. 2021. Стратегирование национальной безопасности Российской Федерации: рекомендации и предложения. Вестник Екатеринбургского института, 2(54): 4–10.
- Братов С.В. 2021. Стратегия национальной безопасности Китая. В сб.: Государство и общество в современной политике. Воронеж: «Научная книга»: 69–74.
- Бухвальд Е.М. 2021. Безопасность и целеполагание в системе стратегического планирования. Экономическая наука современной России, 1(92): 146–154.
- Бухвальд Е.М., Валентик О.Н. 2021. Проблемы национальной безопасности России в свете конституционных новаций 2020 года. Экономическая безопасность, 4(2): 191–208.
- Ильин В.А., Морев М.В. 2021. Стратегия национальной безопасности: позитивные ощущения и противоречивые ожидания. Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз, 14(4): 9–32.
- Касымова Д.М. 2021. Управление экономической безопасностью в системе национальной безопасности. Глобальный научный потенциал, 4(121): 271–273.
- Климкин Н.В. 2021. О национальной безопасности Российской Федерации. В сб.: Актуальные вопросы юриспруденции. Пенза: «Наука и Просвещение», 17–19.

- Князев Ю.К. 2021. Роль планирования в реализации стратегии безопасности России. *Экономическая безопасность*, 4(3): 643–656.
- Козин М.Н., Радченко Е.П. 2021. Национальная и экономическая безопасность Российской Федерации в условиях санкционных ограничений: ключевые проблемы и инструменты обеспечения. *Финансовая экономика*, 3: 157–161.
- Мамадбеков Б.М., Деникаева С.Э. 2021. К вопросу о системе обеспечения национальной безопасности в Российской Федерации. *Евразийский юридический журнал*, 5(156): 96–98.
- Миловидова А.С. 2021. Стратегия национальной безопасности как правовой инструмент обеспечения безопасности государства. В сб.: *Актуальные вопросы права и правоприменения*. Краснодар: Краснодарский ун-т МВД РФ: 153–156.
- Неймарк М.А. 2021. Новая стратегия национальной безопасности: преемственность и развитие. *Научно-аналитический журнал «Обозреватель» – Observer*, 7(378): 5–18.
- Редкоус В.М. 2021. Актуальные вопросы обеспечения экономической безопасности в стратегии национальной безопасности Российской Федерации от 2 июля 2021 года. *Закон и право*, 8: 23–27.
- Mazarr M.J. 2016. Defining risk; Approaches to risk in national security in: *Rethinking Risk in National Security*. N.Y.: Palgrave Macmillan: 19–47.
- Rothacher A. 2021. Post-Soviet industrial policy: From the red directors to the new state oligarchs. In: *Putinomics*. Cham, Switzerland. Springer Nature. Switzerland: 43–104.

References

- Anan'eva E.V., Godovanyuk K.A. 2021. Strategiya nacional'noj bezopasnosti Velikobritanii [The national Security Strategy of the United Kingdom]. *Analiticheskie zapiski Instituta Evropy RAN [Analytical Notes of the Institute of Europe of the Russian Academy of Sciences]*, 5(235): 1–7.
- Andrianov K.N. 2021. Strategirovanie nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii: rekomendacii i predlozheniya [Strategizing the national security of the Russian Federation: recommendations and proposals]. *Vestnik Ekaterininskogo institute [Bulletin of the Catherine Institute]*, 2(54): 4–10.
- Bratov S.V. 2021. Strategiya nacional'noj bezopasnosti Kitaya [China's national security strategy]. V sb.: *Gosudarstvo i obshchestvo v sovremennoj politike [The state and society in modern politics]*. Voronezh: «Nauchnaya kniga»: 69–74.
- Buhval'd E.M. 2021. Bezopasnost' i celepolaganie v sisteme strategicheskogo pla-nirovaniya [Security and goal-setting in the strategic planning system]. *Ekonomicheskaya nauka sovremennoj Rossii [Economic science of modern Russia]*, 1(92): 146–154.
- Buhval'd E.M., Valentik O.N. 2021. Problemy nacional'noj bezopasnosti Rossii v svete konstitucionnyh novacij 2020 goda [Problems of Russia's national security in the light of the constitutional innovations of 2020]. *Ekonomicheskaya bezopasnost' [Economic security]*, 4(2): 191–208.
- Il'in V.A., Morev M.V. 2021. Strategiya nacional'noj bezopasnosti: pozitivnye oshchushcheniya i protivorechivye ozhidaniya [National security strategy: positive feelings and conflicting expectations]. *Ekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz [Economic and social changes: facts, trends, forecast]*, 14(4): 9–32.
- Kasymova D.M. 2021. Upravlenie ekonomicheskoy bezopasnost'yu v sisteme nacio-nal'noj bezopasnosti [Management of economic security in the national security system]. *Global'nyj nauchnyj potencial [Global Scientific Potential]*, 4(121), 271–273.
- Klimkin N.V. 2021. O nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii [On the national security of the Russian Federation]. V sb.: *Aktual'nye voprosy yurisprudencii [Current issues of jurisprudence]*. Penza: «Nauka i Prosveshchenie»: 17–19.
- Knyazev Yu.K. 2021. Rol' planirovaniya v realizacii strategii bezopasnosti Rossii [The role of planning in the implementation of the Russian security strategy]. *Ekonomicheskaya bezopasnost' [Economic security]*, 4(3): 643–656.
- Kozin M.N., Radchenko E.P. 2021. Nacional'naya i ekonomicheskaya bezopasnost' Rossijskoj Federacii v usloviyah sankcionnyh ogranichenij: klyuchevye problemy i inst-rumenty obespecheniya. [National and economic security of the Russian Federation in the conditions of sanctions restrictions: key problems and tools for ensuring]. *Finansovaya ekonomika [Financial Economics]*, 3: 157–161.



- Mamadbekov B.M., Denikaeva S.E. 2021. K voprosu o sisteme obespecheniya nacional'noj bezopasnosti v Rossijskoj Federacii [On the issue of the system of ensuring national security in the Russian Federation]. *Evrazijskij juridicheskij zhurnal* [Eurasian Legal Journal], 5(156): 96–98.
- Milovidova A.S. 2021. Strategiya nacional'noj bezopasnosti kak pravovoj instrument obespecheniya bezopasnosti gosudarstva [The national security strategy as a legal instrument for ensuring the security of the state]. V sb.: *Aktual'nye voprosy prava i pravoprimereniya* [Current issues of law and law enforcement]. Krasnodar: Krasnodarskij un-t MVD RF: 153–156.
- Nejmark M.A. 2021. Novaya strategiya nacional'noj bezopasnosti: preemstvennost' i razvitie [The new National Security Strategy: continuity and development] *Nauchno-analiticheskij zhurnal «Obozrevatel'» – Observer* [Scientific and analytical journal «Observer»], 7(378): 5–18.
- Redkous V.M. 2021. Aktual'nye voprosy obespecheniya ekonomicheskoy bezopasnosti v strategii nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii ot 2 iyulya 2021 goda [Current issues of ensuring economic security in the national security strategy of the Russian Federation of July 2, 2021] *Zakon i pravo* [Law and Legislation], 8: 23–27.
- Mazarr M.J. 2016. *Defining risk; Approaches to risk in national security in: Rethinking Risk in National Security*. N.Y.: Palgrave Macmillan: 19–47.
- Rothacher A. 2021. *Post-Soviet industrial policy: From the red directors to the new state oligarchs*. In: *Putinomics*. Cham, Switzerland. Springer. Switzerland: 43–104.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Бухвальд Евгений Моисеевич, доктор экономических наук, профессор, заведующий Центром федеративных отношений и регионального развития, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экономики Российской академии наук, Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Evgeniy V. Buchwald, Doctor of Economics, Professor, Head of the Center for Federal Relations and Regional Development, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

УДК 339.138, 339.5

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-79-91

Развитие маркетинга во внешнеэкономической деятельности

¹⁾ Гаджиев Н.Г., ²⁾ Карпунин А.Ю., ²⁾ Карпунина Е.В., ³⁾ Коноваленко С.А.

¹⁾ ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

367008, Республика Дагестан, Махачкала, ул. Гаджиева, д. 43-а

²⁾ ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина»

Россия, 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1

³⁾ Рязанский филиал Московского университета Министерства внутренних дел России

имени В.Я. Кикотя, Россия, 390043, г. Рязань, ул. 1-я Красная, д. 18

E-mail: nazirhan55@mail.ru; aukarpunin@mail.ru; elenakarpunina@mail.ru; sergey_marsel@mail.ru

Аннотация. Важная роль в организации внешнеэкономической деятельности хозяйствующих субъектов, в частности освоении новых рынков сбыта и продвижении товаров, принадлежит маркетингу. Хозяйствующие субъекты, обладающие экспортным потенциалом, сталкиваются с проблемами реализации продукции на внешних рынках. Круг этих проблем достаточно широк, от таможенного оформления и перемещения продукции до выявления потребностей конечных потребителей и упаковки товара. Несмотря на наличие значительного числа публикаций по международному маркетингу, в настоящее время отсутствуют универсальные подходы к системной организации маркетинговой деятельности хозяйствующих субъектов, ориентированных на экспорт. Это объясняется различиями в законодательстве, особенностями функционирования внешних рынков и условиями работы на них, требованиями рынка и потребителей в разных странах, а также различиями социально-культурной, политической и экономической среды. Целью данного исследования является формирование основных положений международного маркетинга как инструмента, позволяющего определить возможность вывода продукции организации на внешние рынки сбыта. При обосновании результатов, выводов и практических рекомендаций использовались основные положения экономической теории, научные исследования отечественных и зарубежных экономистов. Исследование проблем международного маркетинга позволило выделить факторы, влияющие на выход отечественных производителей на зарубежные рынки. В результате исследования предложен алгоритм определения конкурентоспособности продукции, позволяющий выделить преимущества и определить возможность продажи продукции на внешнем рынке. Предложенные рекомендации, направленные на развитие международного маркетинга, способствуют решению ряда проблем по выходу хозяйствующих субъектов на новые внешние рынки сбыта продукции.

Ключевые слова: комплекс маркетинга, международный маркетинг, конкурентоспособность, стратегия развития, продвижение, внешние рынки

Для цитирования: Гаджиев Н.Г., Карпунин А.Ю., Карпунина Е.В., Коноваленко С.А. 2022. Развитие маркетинга во внешнеэкономической деятельности. Экономика. Информатика. 49(1): 79–91. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-79-91

Development of marketing in foreign economic activity

¹⁾ Nazirkhan G. Gadzhiev, ²⁾ Alexey Yu. Karpunin, ²⁾ Elena V. Karpunina,

³⁾ Sergey A. Konovalenko

¹⁾ Dagestan State University,

43-a Gadzhieva St, Makhachkala, Republic of Dagestan, 367008, Russia

²⁾ Ryazan State Radiotechnical University named after V.F. Utkin

59/1 Gagarina St, Ryazan, 390005, Russia

³⁾ Ryazan branch of the Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia
named after V.Ya. Kikotya

18 1st Red St, Ryazan, 390043, Russia

E-mail: nazirhan55@mail.ru; aukarpunin@mail.ru; elenakarpunina@mail.ru; sergey_marsel@mail.ru

Abstract. An important role in the organization of foreign economic activity of economic entities, in particular the development of new markets and the promotion of goods, belongs to marketing. Economic entities with



export potential are faced with the problems of selling products in foreign markets. The range of these problems is quite wide, from customs clearance and movement of products, to identifying the needs of end users and packaging goods. Despite the presence of a significant number of publications on international marketing, at present there are no universal approaches to the systematic organization of the marketing activities of export-oriented economic entities. This is due to differences in legislation, the peculiarities of the functioning of foreign markets and the conditions for working on them, the requirements of the market and consumers in different countries, as well as differences in the socio-cultural, political and economic environment. The purpose of this study is to form the main provisions of international marketing as a tool to determine the possibility of bringing the organization's products to foreign markets. When substantiating the results, conclusions and practical recommendations, the main provisions of economic theory, scientific research by domestic and foreign economists were used. The study of the problems of international marketing made it possible to identify the factors influencing the entry of domestic producers into foreign markets. As a result of the study, an algorithm for determining the competitiveness of products is proposed, which allows to highlight the advantages and determine the possibility of selling products on the foreign market. The proposed recommendations aimed at the development of international marketing contribute to solving a number of problems related to the entry of economic entities into new external markets for the sale of products.

Keywords: marketing mix, international marketing, competitiveness, development strategy, promotion, foreign markets

For citation: Gadzhiev N.G., Karpunin A.Yu., Karpunina E.V., Konovalenko S.A. 2022. Development of marketing in foreign economic activity. Economics. Information technologies. 49(1): 79–91 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-79-91

Введение

В условиях, когда страны могут реализовывать свои товары на международных рынках, значительно повышается роль внешнеэкономической деятельности. Интенсивное развитие внешнеэкономической деятельности способствует ускорению процесса интеграции России в мировую экономику. Повышение эффективности внешнеэкономического сотрудничества и реализация конкурентных преимуществ экспортно-ориентированных секторов экономики являются одними из основных направлений государственной политики в сфере обеспечения экономической безопасности. Хозяйствующие субъекты, развивающие направление внешнеэкономической деятельности, сталкиваются с проблемами поиска новых рынков сбыта и продвижения продукции, определения её конкурентоспособности, организации экспорта или импорта товаров, осуществления учёта, анализа и налогообложения экспортных и импортных операций, правилами таможенного оформления и другими вопросами. При решении данных проблем на первый план выходят вопросы маркетинга.

Международный маркетинг представляет собой деятельность организаций на мировом рынке, которая обеспечивает более полное по сравнению с конкурентами удовлетворение спроса определенной группы потребителей на необходимый товар. Такой маркетинг можно рассматривать как определенную рыночную концепцию управления международной деятельностью организации, которая ориентирована на удовлетворение потребителей определенной целевой аудитории в различных странах и формирование их предпочтений в соответствии со стратегическими целями расширения бизнеса в глобальных мировых масштабах.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступает процесс развития международного маркетинга. В процессе проведенного исследования авторы использовали методы логического обобщения, эмпирические методы, а также системный и комплексный подходы, что позволило обосновать выводы и сформировать практические рекомендации по теме исследования. Источниками применяемой информации служат публикации в периодической печати и данные официальных нормативно-правовых и законодательных актов РФ.

Результаты и их обсуждение

По своей сущности концепцию международного маркетинга целесообразно рассматривать как систему мер, осуществляемых на внешних рынках и направленных на изучение, формирование и удовлетворение спроса на продвигаемый продукт с целью извлечения прибыли в долгосрочной перспективе. Развитие концепции маркетинга как неотъемлемой части общей стратегии развития организации происходит непрерывно. В настоящее время можно выделить следующие основные характеристики маркетинга:

- становится участником всех организационных и управленческих процессов организации;
- рассматривается как основной элемент общей стратегии организации, определяя её конкурентные преимущества в краткосрочной и долгосрочной перспективах;
- определяет вектор развития организации и направления деятельности, ориентированные на достижение положительного результата;
- основывается на формировании долгосрочных отношений с потребителями;
- формирует и изменяет мышление потребителей по отношению к товару;
- ориентируется на рыночные сегменты, а не на товар;
- маркетинговая стратегия становится частью нематериальных активов организации.

Между внутренней и внешней (международной) маркетинговой деятельностью отсутствуют принципиальные отличия. Однако специфика международной маркетинговой деятельности определяется конкретным зарубежным рынком, на котором она осуществляется, отличительными особенностями продвигаемого продукта и структурой целевой аудитории. Специфика функционирования зарубежных рынков определяет условия работы национальных компаний на глобальном международном уровне.

При выходе на внешний рынок предприятие попадает в условия жесткой международной конкуренции. В этих условиях можно успешно работать, лишь применяя современные методы управления, в том числе и маркетинг [Шашло, Кузубов, 2017].

Международный маркетинг и продвижение товаров на внешние рынки имеют ряд особенностей, в частности:

- важное значение имеет адаптация продукта к новым зарубежным рынкам;
- изучение новых рынков требует значительных издержек как финансовых, так и трудовых;
- как правило, внешние рынки предъявляют более высокие требования к товарам, по сравнению с требованиями внутреннего рынка;
- мероприятия по продвижению продукта на внешнем рынке требуют значительных затрат.

Несмотря на существующие ограничения, которые устанавливаются отдельными странами для различных участников глобального рынка или групп товаров, в целом открытость международных рынков даёт большие возможности организациям по выводу своих товаров на новые рынки сбыта.

Так, к числу основных факторов, влияющих на выход отечественных производителей на зарубежные рынки, можно отнести:

- наличие неиспользованных производственных мощностей;
- удовлетворение внутреннего спроса на производимый товар;
- изменение покупательной способности на внутреннем рынке;
- появление возможности осуществления бизнеса за границей, в том числе при помощи государственной поддержки;
- благоприятная для конкретного производителя или товара экономическая и коммерческая ситуация на зарубежных рынках;
- увеличивающаяся экспансия на международные рынки;
- возможность получить большую прибыль при продаже продукта на внешнем рынке по сравнению с внутренним рынком.



Особенности международного маркетинга состоят в том, что его организация и методы проведения должны учитывать такие факторы, как независимость государства, национальные валютные системы, национальное законодательство, экономическую политику государства, языковые, культурные, религиозные, бытовые и прочие особенности и обычаи. [Агабаев, Нестерова, Жадько, 2018].

Можно выделить много целей международного маркетинга, но все они сводятся к возможности удовлетворить потребности клиентов на международном уровне и получить прибыль. Однако если рассматривать развитие внешнеэкономической деятельности организаций и международного маркетинга более широко, то можно выделить ряд преимуществ. Так, к числу основных преимуществ можно отнести:

- обеспечение более высокого уровня жизни (товары, которые по разным причинам не могут быть произведены на территории конкретной страны, становятся доступными);
- обеспечение оптимального и рационального использования ресурсов (глобальный международный рынок позволяет экспортировать то, что с избытком есть у одной страны и то, что не хватает другим странам);
- усиление международного сотрудничества (торговые отношения между странами обеспечивают стабильность и устраняют экономическое неравенство);
- эффективное использование избыточного внутреннего производства (товары становятся более доступными для других участников международного рынка).

Маркетинг – это важная составляющая во внешнеэкономической, в частности экспортной деятельности организаций. Международные маркетинговые исследования представляют собой комплекс действий, направленных на изучение рынка и товара, который планируется выводить на рынок. Проведение маркетинговых исследований, позволяет потенциальному экспортеру определить существующий спрос на продукт на внешнем рынке и определить способы, которые позволят вывести продукт на новые рынки. Маркетинговые исследования начинаются с изучения рынка и покупателей, выявления потребностей и мотивов совершения покупки, а завершаются продажей товара и удовлетворением выявленных потребностей. Задачи, решаемые в рамках международного маркетингового исследования, аналогичны задачам маркетинга на внутреннем рынке и строятся на базе концепций комплекса маркетинга. Исследование рынка на международном уровне обеспечивает основу для планирования и развития продукта, а также внедрения новых методов его продвижения.

Первым, кто предложил концепцию комплекса маркетинга, был американский профессор маркетинга и писатель Эдмунд Джером Маккартни. Предложенная в 1960 г. модель получила название 4P, которая представляет собой факторы результативного развития продукта компании на рынке. Так, модель 4P включает следующие факторы:

1. Product (Продукт) – это товары (работы, услуги), которые компания производит.
2. Price (Цена) – это сумма, которую покупатели платят за товар.
3. Place (Место) – определение местоположения, в результате которого товары становятся доступными для потребителей.
4. Promotion (Продвижение) – деятельность организации, направленная на информирование целевых потребителей о товарах (работах, услугах), а также на убеждение купить именно этот продукт.

Классическая модель комплекса маркетинга 4P представлена на рис. 1.

Данная модель проста в использовании и достаточно универсальна, поскольку включает все необходимые элементы продукта, которые можно контролировать. Позднее в популяризацию модели 4P существенный вклад внес американский экономист и маркетинголог Филип Котлер.

Эффективность применения концепции маркетинга 4P подтверждена большинством компаний во всем мире, поэтому именно она является основой при формировании стратегии маркетинга организаций на любых рынках, именно эту концепцию изучают в университетах и бизнес-школах в качестве базовой.

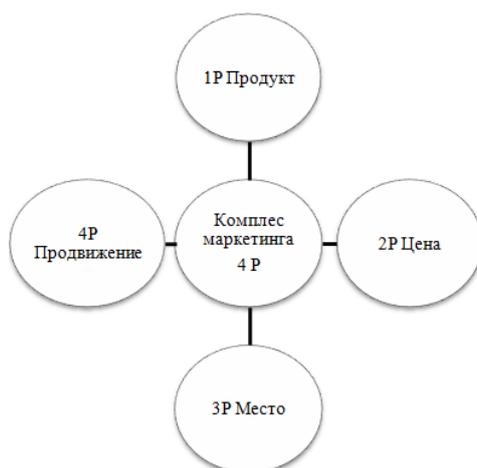


Рис. 1. Комплекс маркетинга 4Р
 Fig. 1. Marketing complex 4P

С появлением первой модели концепции маркетинга прошло достаточно много времени. Претерпели изменения рынки, появились новые товары и услуги, поменялся рынок международной торговли, усилились процессы глобализации и менялась роль отдельных стран в мировой экономике. Все эти процессы приводили к изменениям концепций маркетинга. При этом принципиально новые концепции маркетинга не появились, а происходило совершенствование существующих моделей путём добавления новых элементов. В табл. 1 более наглядно представлена сравнительная характеристика основных концепций маркетинга.

Таблица 1
 Table 1

Сравнительная характеристика основных концепций маркетинга
 Comparative characteristics of the main marketing concepts

Концепция маркетинга				
4Р	5Р	6Р	7Р	12Р
1	2	3	4	5
Product (Продукт)	Product (Продукт)	Product (Продукт)	Product (Продукт)	Product (Продукт)
Price (Цена)	Price (Цена)	Price (Цена)	Price (Цена)	Price (Цена)
Place (Место) (каналы сбыта)	Place (Место) (каналы сбыта)	Place (Место) (каналы сбыта)	Place (Место) (каналы сбыта)	Place (Место) (каналы сбыта)
Promotion (Продвижение)	Promotion (Продвижение)	Promotion (Продвижение)	Promotion (Продвижение)	Promotion (Продвижение)
-	People (Люди, клиенты)	People (Люди, клиенты)	People (Люди, клиенты)	People (Люди, клиенты)
-	-	Process (Процесс, взаимодействие между потребителем и организацией)	Process (Процесс, взаимодействие между потребителем и организацией)	Process (Процесс, взаимодействие между потребителем и организацией)
-	-	-	Physical evidence (Физическое подтверждение, фирменный стиль, качество обслуживания)	Physical evidence (Физическое подтверждение, фирменный стиль, качество обслуживания)
-	-	-	-	Public relations (связи с общественностью)



Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
-	-	-	-	Packaging (Упаковка)
-	-	-	-	Positioning (Позиционирование)
-	-	-	-	Perception (Восприятие)
-	-	-	-	Personal Selling (личные продажи)

Если модели 4P, 5P, 6P, 7P можно отнести к базовым с одинаковым содержанием элементов, то концепция маркетинга 12P в различной экономической литературе включает в себя различные факторы. В частности, наряду с отмеченными, встречаются такие элементы, как Profit (Прибыль), Physical Premises (Окружающая среда), Purchase (Покупка) и др.

Особое внимание следует уделить концепции маркетинга, которую предложил американец Роберт Ф. Лотерборн в 1990 г. Предложенная модель 4C принципиально отличалась от модели 4P тем, что маркетинговая деятельность организации ориентировалась не на продукт, а на покупателя. В состав модели 4C включались следующие элементы:

1. Cost (Стоимость, расходы для потребителя) – клиент должен понимать, какую ценность он получает от продукта, покупая его по определенной цене;
2. Customer needs and wants (customer value) (Нужды и желания потребителей, потребительская ценность) – при разработке и продаже продукта, необходимо исходить из потребностей клиентов и удовлетворения спроса;
3. Convenience (Удобство) – процесс покупки продукта должен быть максимально удобным для клиента;
4. Communication (Коммуникация) – диалог с потенциальными клиентами, основанный на выявлении их потребностей.

В табл. 2 для наглядности представлены две классические концепции маркетинга.

Таблица 2
Table 2

Концепция маркетинга 4P и 4C
4P and 4C marketing Concept

4P (автор Эдмунд Джером Маккартни, 1960 г.)	4C (автор Роберт Ф. Лотерборн, 1990 г.)
Product (Продукт)	Cost (Стоимость)
Price (Цена)	Customer needs (Потребности клиентов)
Place (Место)	Convenience (Удобство)
Promotion (Продвижение)	Communication (Коммуникация)

Независимо от того, какая концепция маркетинга применяется в организации, она должна быть нацелена на удовлетворение потребностей покупателей. Важно разработать маркетинговую стратегию, которая обеспечивала бы доступность продукта для клиентов и позволяла организации генерировать прибыль.

Поскольку значительное количество организаций в качестве инструмента маркетинговых исследований выбирают комплекс маркетинга 4P, то остановимся на нём более подробно и рассмотрим его содержание. Данный комплекс позволяет детально рассмотреть характеристики продуктов, их конкурентные преимущества, ценовую политику, особенности продвижения и позиционирования товара на зарубежных рынках.

4Р (1Р Продукт)

Продукт является ключевым элементом в международном комплексе маркетинга. Если он не позволяет удовлетворить потребности покупателя и не пользуется спросом, то дополнительные затраты и усилия, связанные с формированием спроса и продвижением товара, не приведут к улучшению его позиций на конкурентном рынке. Когда мы говорим о международных маркетинговых исследованиях, мы в первую очередь подразумеваем возможность экспорта продукта на международные рынки. Продукт, ориентированный на внутренний рынок и пользующийся спросом, не всегда соответствует потребностям и ожиданиям иностранного покупателя. Поэтому прежде чем продукт можно было бы назвать экспортным, то есть готовым к внешним рынкам, необходимо провести детальный анализ требований соответствующего сегмента рынка той страны или группы стран, куда организация планирует его реализовывать.

Одним из эффективных инструментов, позволяющих определить полезные свойства товара, является мультиатрибутивная модель.

Мультиатрибутивная модель товара чаще всего определяется как концепция, где товар представляет собой совокупность благ, приобретаемых для удовлетворения нужд и потребностей. То есть товар как набор определенных атрибутов имеет некоторую ценность для потребителя, в свою очередь потребитель стремится максимизировать общую полезность товара в процессе выбора. Эта модель основывается на том, что потребители рассматривают атрибуты товара и оценивают их с точки зрения основных и дополнительных качеств.

Атрибут товара – это выгода, которую ищет покупатель. Он может включать в себя функциональную составляющую, а также эмоциональную и эстетическую природу. Комбинацию атрибутов товара принято называть моделью товара. Существует много различных мультиатрибутивных моделей товара, но наибольшее распространение получила пятиуровневая модель Т. Левитта – Ф. Котлера, включающая пять характеристик товара (рис. 2).



Рис. 2. Пятиуровневая мультиатрибутивная модель Т. Левитта – Ф. Котлера
Fig. 2. The five-level multiattributive model of T. Levitt - F. Kotler

Уровень 1 «Ключевой продукт» – составляет основу этой модели и определяет ключевую потребность покупателя, которая должна быть удовлетворена. На данном уровне формируется ключевая ценность продукта, т. е. какую пользу он приносит потребителю и какую проблему решает.

Уровень 2 «Основной продукт» – формируется основной набор характеристик, позволяющий удовлетворить определенные потребности покупателей. На данном уровне определяется основная выгода продукта.

Уровень 3 «Ожидаемый продукт» – это набор полезных свойств и качеств товара, который соответствует минимальным ожиданиям потребителя. Как правило, ожидаемый продукт

соответствует определенным стандартам и не раскрывает ключевое конкурентное преимущество.

Уровень 4 «Улучшенный продукт» – включает в себя дополнительные характеристики, повышающие его потребительскую ценность. Улучшенный товар представляет собой предложение, которое превышает ожидания потребителей.

Уровень 5 «Потенциальный продукт» – включает в себя все возможные характеристики продукта, позволяющие представить потребителю товар, превосходящий его ожидания. Продукт данного уровня считается «идеальным» и несёт в себе максимальные выгоды для потребителей.

Применение многоуровневой мультиатрибутивной модели позволяет сформировать стратегию вывода товара на рынок, в том числе:

- определить его ключевую ценность продукта;
- определить основные характеристики продукта;
- определить конкурентные преимущества продукта;
- определить направления совершенствования продукта с целью повышения его конкурентоспособности.

При формировании конкурентных преимуществ товара можно выделить следующие этапы:

1. Провести анализ продукта и конкурентов. Понять, какими преимуществами обладает товар и товар конкурентов.
2. Определить целевую аудиторию продукта. Понять, кто именно будет покупать товар и какую проблему потребителя он решает, то есть какова потребность людей или организаций в продукте.
3. Сформировать список выгод, которые получает потребитель, и сравнить его с выгодами, которые предоставляет товар конкурентов.
4. Определить, каким образом будет реализовываться конкурентное преимущество и как долго оно будет сохранять свою актуальность [Коноваленко, Гаджиев, Карпунина, Карпунин, 2022].

Наличие устойчивых конкурентных преимуществ является обязательным условием существования и развития бизнеса в рыночной экономике. Для того чтобы определить возможность продажи товара на внешнем рынке, необходимо выделить его преимущества и определить конкурентоспособность. На рис. 3 представлен алгоритм определения конкурентоспособности продукции.

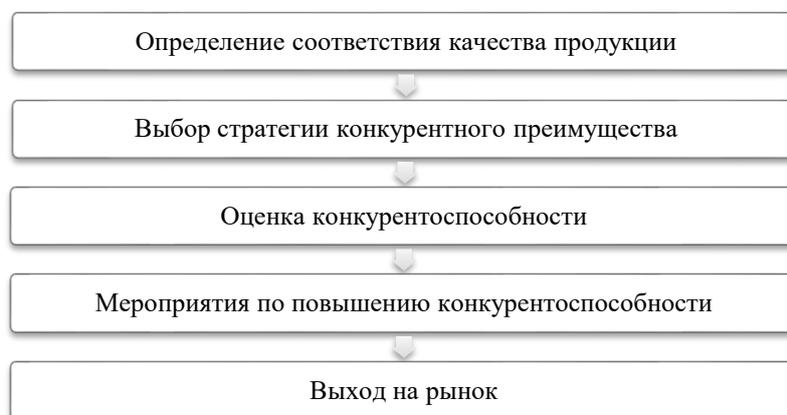


Рис. 3. Алгоритм определения конкурентоспособности продукции
Fig. 3. Algorithm for determining the competitiveness of products

Соответствие товара требованиям качества, сертификации и нормативным документам на внутреннем рынке часто не совпадает с условиями, которым должен соответствовать то-

вар в других странах. В этой связи необходимо определить, насколько товар удовлетворяет требованиям того рынка, на котором планируется его продавать. Таким образом, для того чтобы сформулировать конкурентное преимущество и выйти на новые рынки сбыта продукции, необходимо пройти все этапы анализа продукции. Чем точнее организация сможет определить конкурентные преимущества, тем больше шансов выйти на новые рынки, выполнить запланированные показатели продаж и достичь необходимые финансовые результаты.

4Р (2Р Цена)

Следующим элементом в международном комплексе маркетинга, который мы рассмотрим, является цена. Под ценой товара понимается определенное количество денежных средств, за которые продавец согласен продать товар, а покупатель готов его купить. Установление конкретной цены на товар является важным элементом в маркетинге, поскольку оказывает влияние на финансовый результат деятельности организации на конкретном рынке. Порядок формирования цены товара, ориентированного на внешние рынки, имеет некоторые особенности. В частности, необходимо исходить из того, что цена, по которой товар будет продаваться на внешних рынках, должна учитывать все издержки, связанные с экспортом, и при этом оставаться конкурентоспособной.

Ключевым фактором, оказывающим влияние на финансовый результат деятельности организации, является цена, по которой реализуется товар. Ценовая политика, как ключевой элемент маркетинговой стратегии организации, представляет собой принципы определения цены на производимые и реализуемые товары для достижения целей организации. Ценовая политика существенно влияет на платежеспособность и финансовую устойчивость организации.

Ценность товара, учитываемая при выборе ценовой политики – это субъективно воспринимаемые покупателем характеристики (свойства) товара. Составляя карту конкурентоспособности товара, экспортеры в первую очередь анализируют ценность основных свойств товара для потребителей и затем выбирают на их основе политику ценообразования.

При разработке ценовой стратегии необходимо учитывать влияние внешних, не зависящих от организации, и внутренних, подверженных влиянию со стороны организации, ценообразующих факторов.

Внешние факторы:

- государственная политика в области ценообразования, финансов, налогообложения, внешнеэкономической деятельности и т. п.
- наличие платежеспособного спроса на товар;
- уровень инфляции;
- наличие конкурентной среды;
- природно-климатические условия;
- взаимоотношения со странами, в которые планируется экспортировать товар;
- валютные риски, в т. ч. колебания валютных курсов;
- национальное законодательство зарубежных стран, в т. ч. требования, предъявляемые к ввозимым товарам.

Внутренние факторы:

- качество и ассортимент производимой продукции;
- наличие ресурсов у организации;
- известность организации и продукта на рынке;
- наличие и применение инновационных технологий;
- имидж организации на рынке.

Ценовая стратегия представляет собой выбор ценового приоритета в рамках планируемого долгосрочного периода с целью эффективного сбыта продукции.

Разработка ценовой стратегии включает в себя сбор информации, стратегический анализ и создание ценовой стратегии. Стратегия ценообразования должна быть конкурентоспособной, прибыльной, гибкой и должна носить перспективный характер.

4P (3P Место)

Важной составляющей в модели маркетинга 4P является такой элемент, как место. Именно правильный выбор места продажи способен обеспечить доступность продукта для потенциальных потребителей. Для успешной продажи товара он должен находиться в нужном месте, т. е. там есть целевая аудитория и в нужное время, когда есть потребность в данном товаре.

Формирование каналов распределения является ключевым моментом в общем комплексе международных маркетинговых мер по взаимодействию с внешним рынком. Канал распределения представляет собой совокупность организаций или отдельных лиц, участвующих в процессе продвижения товара от производителя к потребителю, т. е. это путь, который проделывает товар от производителя к потребителю. Канал распределения позволяет устранить длительные разрывы во времени, месте и праве собственности, отделяющие товары и услуги от тех, кто хотел бы ими воспользоваться.

Канал обладает такими характеристиками, как уровень, протяженность (длина) и ширина. Уровень канала – это любой участник процесса товародвижения, выполняющий операции по приближению товара к конечному потребителю. Протяжённость (длина) канала в международной торговле определяется количеством имеющихся в нем промежуточных уровней, т. е. посредников. Ширина канала характеризуется числом независимых однотипных участников конкретного уровня.

Структура международных каналов сбыта продукции существенно сложнее по сравнению с торговлей на внутреннем рынке производителя. Канал распределения в международной торговле характеризуется увеличенной протяженностью и шириной.

Выбор канала распределения является важным этапом при выходе на внешние рынки. На рис. 4 представлены типовые схемы движения товара в международном маркетинге.

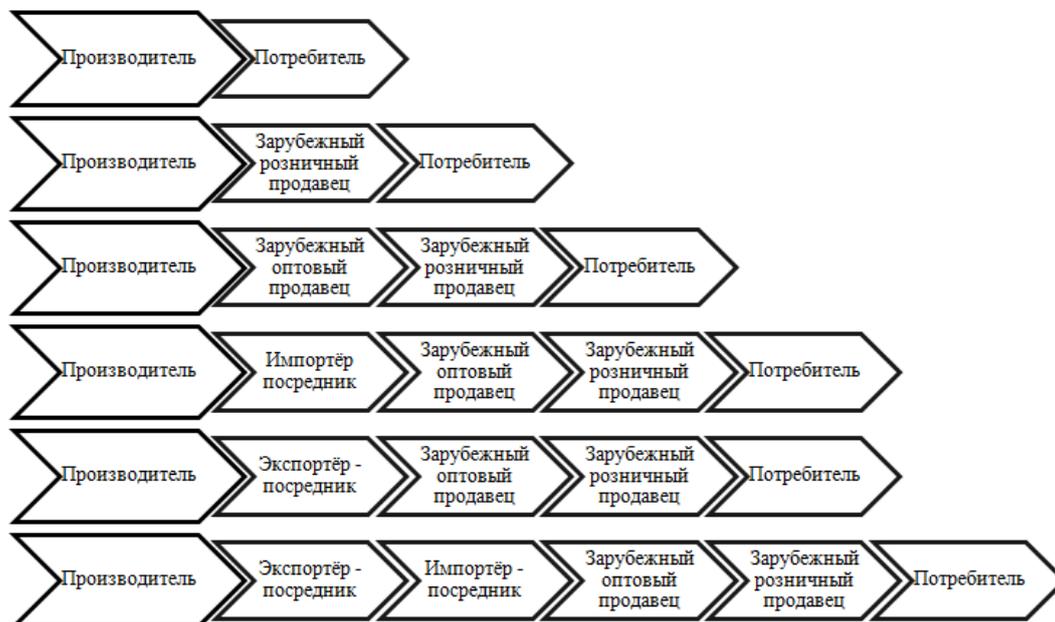


Рис. 4. Типовые схемы движения товара в международном маркетинге

Fig. 4. Typical patterns of product movement in international marketing

В том канале распределения, где движение товара происходит непосредственно от производителя к потребителю, называется каналом прямого маркетинга, в остальных случаях это косвенные каналы. Следует отметить, что для большинства случаев международной торговли характерно использование косвенных каналов маркетинга.

Таким образом, с одной стороны, продажа продукции через посредников позволяет удовлетворить потребности большего числа покупателей, но при этом производитель может потерять контроль над качеством товара, ценой и в целом над процессом сбыта продукции.

С другой стороны, реализация товара по прямому каналу продаж без посредников связана с большими рисками и более высокими издержками, а также позволяет удовлетворить потребности лишь ограниченного числа потребителей, но преимущество в том, что производитель напрямую взаимодействует с конечным потребителем продукции.

4Р (4Р Продвижение)

Заключительным элементом в маркетинговой стратегии 4Р является продвижение. Продвижение преследует своей целью информирование потенциальных потребителей о продукте и оказание влияния на потребителей для совершения ими покупки. Комплексное продвижение включает в себя различные инструменты, которые можно использовать для взаимодействия с целевой аудиторией.

В какой-то степени термин продвижение сопоставляют с термином реклама. Под рекламой понимается информация, распространенная любым способом, в любой форме и с использованием любых средств, адресованная неопределенному кругу лиц и направленная на привлечение внимания к объекту рекламирования, формирование или поддержание интереса к нему и его продвижение на рынке (пункт 1 статьи 3 Федерального закона № 38-ФЗ от 13.03.2006 г. «О рекламе»). Данное определение дает общее понимание термина реклама, но реклама в каждой стране имеет свои особенности и различия. Международный маркетинг, известный также как глобальный маркетинг, является важным элементом для развития успешного бизнеса. Существует множество преимуществ международного маркетинга, в том числе тот факт, что реклама продукта за рубежом может значительно расширить рынки сбыта и позволит строить новые отношения с предприятиями по всему миру [Кириллова, Носова, 2019].

Все эти различия влияют на то, как рекламные сообщения воспринимаются сознанием потребителей. А это значит, что при выходе на международные рынки необходимо адаптировать свою коммуникацию с потребителями в соответствии с особенностями каждой конкретной страны и рынка. При адаптации рекламных коммуникаций необходимо оценивать их доступность для конкретной целевой аудитории.

Основная задача на данном этапе – определить виды рекламы, которые будут использованы для того, чтобы потребитель узнал о товаре и уникальном предложении. Раздел «продвижение» один из немногих, содержание которого в большей степени подвержено постоянному изменению. Это связано с изменением каналов коммуникации, предпочтений потребителей, восприятием информации, скоростью передачи информации и многими другими факторами, влияющими на каналы и способы рекламы.

Выбор способа продвижения зависит от конкретной целевой аудитории, особенностей товара, специфики внешнего рынка, способа восприятия информации конкретной группы потребителей, бюджета организации, который выделяется на эти цели и других факторов.

Для продвижения целесообразно использовать все доступные инструменты коммуникации, предварительно оценив их эффективность. В том числе:

- участие в тематических выставках и поездках предпринимателей за рубеж (эффективный способ рассказать о продукте организации и найти новых клиентов и деловых партнёров);
- публикации в различных специализированных СМИ позволяют сформировать положительный имидж организации и сформировать доверие к продукту;
- возможности сети интернет (seo-продвижение, e-mail маркетинг, контекстная и таргетированная реклама и др.) – в настоящее время интернет-маркетинг – один из самых доступных и эффективных способов донести информацию до конечных потребителей, в том числе на внешних рынках.

Рассмотренная нами ранее мультиатрибутивная модель дает полное представление о том, насколько организация точно понимает основные характеристики своего продукта и его основное предназначение. Выделенные уникальные преимущества продукта позволяют отличаться от конкурентов и продвигаться в своём сегменте, в том числе на зарубежных рынках. Однако наличие явных конкурентных преимуществ не всегда способно обеспечить



успешность на международных рынках. Необходимо учитывать уровень социально-экономического развития страны, культурную среду, менталитет, традиции и другие особенности, присущие конкретному рынку и населению.

Заключение

Учитывая вышеизложенное, можно отметить, что организации, планирующие выход на внешние рынки, должны решить, каким образом они будут адаптировать свой продукт к условиям и требованиям иностранного рынка. При этом необходимо обратить внимание, что на внутреннем рынке организация не адаптирует продукт под определенные требования, а изначально создаёт его с учётом существующих условий. В ряде случаев, когда организация создаёт новый продукт и планирует его вывод на иностранные рынки, требования стандартов зарубежных стран целесообразно учесть на стадии создания продукта, что позволит более эффективно использовать ресурсы и последующий процесс адаптации свести к минимуму. Кроме того, адаптация продукта к новым условиям внешнего рынка должна проводиться с учётом экономической целесообразности или с наименьшими затратами.

Вместе с тем развитие маркетинга и применение маркетинговых инструментов позволит хозяйствующим субъектам оценить возможность эффективного осуществления внешнеэкономической деятельности в разрезе экспортных и импортных операций.

Список источников

- Агабабаев М.С., Нестерова З.В., Жадько Е.А. 2018. Международный маркетинг: учеб. пособие; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. гос. экон. ун-т. Екатеринбург : [Изд-во Урал. гос. экон. ун-та], 118 с.
- Диденко Н.И., Скрипнюк Д.Ф. 2018. Международный маркетинг. Практика: Учебник. Москва: Издательство Юрайт, 406 с.
- Карпунина Е.В., Карпунин А.Ю. 2020. Анализ внешнеэкономической деятельности. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 191 с.
- Кирбитова С.В. 2021. Бизнес-планирование во внешнеэкономической деятельности в условиях цифровизации экономики: Учебное пособие. Санкт-Петербург: Издательство «Наукоёмкие технологии», 146 с.
- Котлер Ф. 2007. Основы маркетинга. Краткий курс. Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 656 с.
- Стровский Л.Е., Казанцев С.К., Неткачев А.Б. [и др.]. 2017. Внешнеэкономическая деятельность предприятия: учебник для студентов вузов, обучающихся по экономическим специальностям.; под редакцией Л.Е. Стровского. 5-е изд. Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 503 с.
- Указ Президента Российской Федерации от 13.05.2017 г. № 208 «О стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года» URL: <http://government.ru/docs/all/111512/> (дата обращения: 13.02.2022г.)
- Федеральный закон от 13.03.2006 г. № 38-ФЗ «О рекламе» URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/23532> (дата обращения: 13.02.2022г.)
- Шашло Н.В., Кузубов А.А. 2017. Внешнеэкономическая деятельность предприятия: учебное пособие. Владивостокский государственный университет экономики и сервиса. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 304 с.

Список литературы

- Барсукова С.В. 1999. Международный маркетинг: проблемы и перспективы развития. Вестник Финансовой академии, 3(11): 40–47.
- Внуковский Н.И., Бутко Г.П. 2006. Формирование стратегии управления конкурентоспособностью организации (предприятия). Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник, 1: 96–100.
- Кириллова Л.К., Носова Т.А. 2019. Международный маркетинг: проблемы и перспективы развития российских компаний. Hypothesis. 4(9): 38–44.
- Коноваленко С.А., Гаджиев Н.Г., Карпунина Е.В., Карпунин А.Ю. 2022. Обеспечение экономической безопасности в сфере внешнеэкономической деятельности. Экономическая безопасность, 5(1). doi: 10.18334/ecsec.5.1.114115

- Макрусев В.В., Кошелев А.В. 2019. Проблемные вопросы формирования стратегии маркетинга в сфере таможенных услуг. *International Journal of Professional Science*, 10: 98–107.
- Пескова О.С., Борискина Т.Б., Мершиева Г.А., Самсонова Е.В. 2020. Эволюция маркетинга как концепции управления рынком: переход от классического маркетинга к «новому» маркетингу. *Вестник ОрелГИЭТ*, 1(51): 60–67. – DOI 10.36683/2076-5347-2020-1-51-60-67
- Соболев В.Ю. 2004. Адаптация товаров к требованиям международного рынка. *Дайджест-Финансы*, 2 (110): 2–5.

References

- Barsukova S.V. 1999. International marketing: problems and prospects of development. *Bulletin of the Financial Academy*, 3(11): 40–47.
- Vnukovsky N.I., Butko G.P. 2006. Formation of a strategy for managing the competitiveness of an organization (enterprise). *Bulletin of the Moscow State University of the Forest - Forest Bulletin*, 1: 96–100.
- Kirillova L.K., Nosova T.A. 2019. International marketing: problems and prospects of development of Russian companies. *Hypothesis*. 4(9): 38–44.
- Konovalenko S.A., Gadzhiev N.G., Karpunina E.V., Karpunin A.Yu. 2022. Ensuring economic security in the sphere of foreign economic activity. *Economic security*, 5(1). doi: 10.18334/ecsec.5.1.114115
- Makrusev V.V., Koshelev A.V. 2019. Problematic issues of forming a marketing strategy in the field of customs services. *International Journal of Professional Science*, 10: 98–107.
- Peskova O.S., Boriskina T.B., Mershieva G.A., Samsonova E.V. 2020. The evolution of marketing as a market management concept: the transition from classical marketing to "new" marketing. *Bulletin of OrelGIET*, 1(51): 60–67. – DOI 10.36683/2076-5347-2020-1-51-60-67
- Sobolev V.Yu. 2004. Adaptation of goods to the requirements of the international market. *Digest-Finance*, 2 (110): 2–5.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Гаджиев Назирхан Гаджиевич, доктор экономических наук, профессор, проректор по экономике и финансам, заведующий кафедрой экономической безопасности, анализа и аудита, Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Nazirkhan G. Gadzhiev, Doctor of Economics, Professor, Vice-Rector for Economics and Finance, Head of the Department of Economic Security, Analysis and Audit, Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Карпунин Алексей Юрьевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учёта РГРТУ, г. Рязань, Россия

Aleksey Yu. Karpunin, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economic Security, Analysis and Accounting, Russian State Technical University, Ryazan, Russia

Карпунина Елена Валерьевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учёта РГРТУ, г. Рязань, Россия

Elena V. Karpunina, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economic Security, Analysis and Accounting, Russian State Technical University, Ryazan, Russia

Коноваленко Сергей Александрович, кандидат экономических наук, доцент, профессор кафедры экономической безопасности, Рязанский филиал Московского университета Министерства внутренних дел России имени В.Я. Кикотя, г. Рязань, Россия

Sergey A. Konovalenko, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Economic Security, Ryazan branch of the Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after V.Ya. Kikotya, Ryazan, Russia



УДК УДК 339.138-311.211
DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-92-102

Разработка подходов к оценке эффективности маркетинговых акций для участников программ лояльности в розничной торговле (на примере аптечной сети)

¹⁾ Степанов А.С., ²⁾ Чемоданов А.А.

¹⁾ Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН,
680000, Россия, Хабаровск, ул. Тургенева, 51

²⁾ Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
680021, Россия, Хабаровск, ул. Серышева, 47

E-mail: stepanfx@mail.ru

Аннотация. Решение задач, связанных с оценкой эффективности маркетинговых акций, является обязательным условием при планировании маркетинговой стратегии розничной торговой организации и развитии программ лояльности. В статье представлен алгоритм общего подхода к анализу эффективности акций, в том числе принцип формирования контрольной и основной групп с оценкой тождественности средних значений основного целевого показателя в каждой группе с использованием статистических критериев. На примере крупной аптечной сети представлена оценка эффективности двух маркетинговых акций, направленных на участников существующей бонусной программы. Было показано, что прирост целевого показателя не являлся статистически достоверным, при этом для достижения положительного экономического эффекта необходим был прирост выручки на уровне 14 % для четырехнедельной акции, и 21 % для двухнедельной. Использование предложенного подхода при предварительном планировании маркетинговых акций позволит оценить возможность достижения точки безубыточности и принять решение о целесообразности проведения, корректировки длительности и целевой аудитории акции.

Ключевые слова: маркетинг, контрольная группа, валовая прибыль, бонусная программа, статистический критерий

Для цитирования: Степанов А.С., Чемоданов А.А. 2022. Разработка подходов к оценке эффективности маркетинговых акций для участников программ лояльности в розничной торговле (на примере аптечной сети). Экономика. Информатика. 49(1): 92–102. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-92-102

Development of approaches to evaluating the marketing campaigns effectiveness for loyalty programs participants in retail (using the example of a pharmacy chain)

¹⁾ Alexey S. Stepanov ²⁾ Artem A. Chemodanov

¹⁾ Khabarovsk Federal Research Center FEB RAS,
51 Turgeneva St, Khabarovsk, 680000, Russia

²⁾ Far Eastern State Transport University,
47 Serysheva St, Khabarovsk, 680021, Russia

E-mail: stepanfx@mail.ru

Abstract. Solving problems related to evaluating the effectiveness of marketing campaigns is a prerequisite for planning the marketing strategy of a retail organization and developing loyalty programs. The article presents an algorithm of a general approach to analyzing the effectiveness of stocks, including the principle of forming control and main groups with an assessment of the identity of the average values of the main target indicator in each group using statistical criteria. In the future, it is proposed to assess the reliability of

differences between the average values of the target indicator in the control and main groups in the period before the promotion and in the promotional period. The subsequent analysis involves the construction of models and calculation of the profit from the stock for the actual and simulated targets. Using the example of a large pharmacy chain, an assessment of the effectiveness of two marketing campaigns aimed at participants of the existing bonus program is presented. The average daily revenue per participant of the bonus program was chosen as the main target indicator. When calculating the profit of the organization, the average trade premium of the pharmacy organization, the duration of the promotion, the size of the main group, as well as the cost of SMS, the size of the bonus for the participant of the promotion, the share of bonuses paid were taken into account. It was shown that the increase in the target indicator was not statistically reliable, while in order to achieve a positive economic effect, a revenue increase of 14% was needed for a four-week promotion, and 21% for a two-week one. The use of the proposed approach in the preliminary planning of marketing campaigns will allow us to assess the possibility of reaching the break-even point and make a decision on the feasibility of conducting, adjusting the duration and target audience of the campaign.

Keywords: marketing, control group, gross profit, bonus program, statistical criterion

For citation: Stepanov A.S., Chemodanov A.A. 2022. Development of approaches to evaluating the marketing campaigns effectiveness for loyalty programs participants in retail (using the example of a pharmacy chain). *Economics. Information technologies*. 49(1): 92–102 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-92-102

Введение

Развитие программ лояльности в настоящее время можно отнести к неперенным условиям успешного функционирования крупных торговых организаций в сфере ритейла [Vakulenko et al., 2019]. Одним из инструментов формирования потребительской лояльности, в том числе и в e-commerce, является бонусная программа [Агеева, Воловская, 2019]. Разные виды акционной активности не только имеют разные затраты, но совершенно несхожим образом влияют на потребительский спрос [Khouja et al., 2020]. Для проведения таргетированных акций, направленных на определенные группы участников бонусной программы, необходимо предварительно проанализировать большие объемы информации, для оптимизации целевых товаров для поиска наилучших целевых клиентов [Henzel, Sikora, 2020; Moodley et al., 2020; Li X. et al., 2021]. Так, например, с использованием методов машинного обучения был реализован алгоритм, позволяющий повысить эффективность акции, устраняя «ложные срабатывания» (нацеливание на клиентов, которые не покупают продукт) и уменьшая «ложные отрицательные результаты» (не нацеливание на клиентов, которые могли бы купить продукт) [Moodley et al., 2020].

В другой работе [Henzel, Sikora, 2020] для определения эффекта продвижения вводятся шесть показателей эффективности. Для каждого показателя, в рамках заранее определенных групп продуктов, была разработана индивидуальная обучающая модель.

При этом на изменение спроса на товар со стороны участников бонусной программы влияет продолжительность акций [Li X. et al., 2021; Li Z. et al., 2021]. Авторами показана необходимость предварительного деления клиентов на группы при проведении ценовых акций, а также представлена методика расчета продолжительности акции для максимизации прибыли.

На сегодняшний день на консалтинговом рынке России и зарубежных стран представлено достаточное число организаций, предлагающих услуги по формированию, проведению и оценке эффективности маркетинговых акций в рамках функционирующей бонусной программы. При этом зачастую анализ эффективности заключается в простом сравнении выбранных показателей в период проведения акции и в предшествующий период, без оценки статистической достоверности. Также, если используется подход к разделению целевой аудитории (ЦА), определенные вопросы возникают к формированию контрольной группы (КГ) и основной группы (ОГ). Для оценки эффективности маркетинговых акций могут использоваться такие же экономические показатели, как и для оценки бизнеса в целом, напри-



мер, рентабельность затрат, рентабельность продаж и чистый дисконтированный доход [Ветрова, Купчинская, 2018]. При этом предложено разделять понятия эффективность и результативность программ лояльности, в частности, первое понятие характеризует именно экономический эффект в краткосрочном периоде (например, во время проведения акции), а результативность – долгосрочный эффект (например, привлечение новых клиентов) [Величко, 2016].

Также некоторыми исследователями для оценки эффективности акций используется прогнозирование выбранных показателей на период проведения акции [Epstein et al., 2016; Auvaz et al., 2021]. Такой подход применяется для того, чтобы отделить влияние акционного эффекта на рост продаж от прочих факторов, например, сезонного фактора.

При проведении маркетинговой акции в форме контролируемого эксперимента встречаются разные подходы к формированию контрольной и экспериментальной групп, например, с предварительным тестированием потенциальных участников с целью выявления отклонений в поведении потребителей [Ryals, Wilson, 2005]. Метод А/В тестирования, или сплит-тестирования, который в последнее время часто применяется для оценки эффективности веб-страниц в e-commerce [Ma, Sun, 2020; Wang et al., 2020], также может использоваться в анализе эффективности классических акций [Мхитарян, Донченко, 2018].

Группой ученых представлен пример формирования КГ и ОГ для оценки эффективности акций на платформе Алибаба [Zhang et al., 2018]. Вся целевая аудитория делилась пополам случайным образом, была проанализирована достоверность прироста среднедневной покупки в КГ и ОГ в краткосрочном и долгосрочном периоде с использованием Т-теста и критерия Уилкоксона [Минько, 2008]. В целом подобный подход к формированию групп, с одной стороны, обеспечивает максимальное сходство КГ и ОГ, с другой стороны, снижает потенциально возможный доход от ОГ для успешных акций.

Таким образом, на текущий момент существует потребность в разработке научно-обоснованного подхода к оценке эффективности маркетинговых акций в торговых организациях. Разработанный подход должен включать описание методов формирования КГ и ОГ, статистические методы оценки достоверности различий показателей КГ и ОГ в периоды до и во время проведения акций, а также построение моделей и расчет прибыли от проведения акций для фактических и смоделированных целевых показателей.

Объекты и методы исследования

Проводилась оценка эффективности двух акций (условно обозначены Акция 1 и Акция 2), проведенных в крупнейшей аптечной сети российского Дальнего Востока, входившей в Топ-20 рейтинга аптечных сетей РФ по итогам 2020 и первой половины 2021 г [Жаров, 2021; Кряжев и др., 2021].

В апреле и мае 2021 в исследуемой аптечной сети были проведены две акции, в качестве ЦА каждой акции рассматривались участники бонусной программы, совершившие хотя бы одну покупку в сети в последние два месяца. Всей ЦА, за исключением выделенной контрольной группы КГ, отправлялись смс с предложением осуществить покупку в определенный период, при этом в дальнейшем ОГ начислялись бонусы, которые можно было потратить в двухнедельный период после окончания акции. В таблице 1 представлены сроки проведения, а также число участников, сформировавших ОГ и КГ для каждой акции.

Таблица 1
Table 1

Сроки проведения, размер основной и контрольной групп для Акции 1 и 2
 Dates, size of the main and control groups for Campaign 1 and 2

	Дата начала акции	Дата окончания акции	Дней проведения акции	Размер ОГ	Размер КГ	Сумма бонусов, руб
Акция 1	19.04.21	16.05.21	28	20030	3000	50
Акция 2	17.05.21	31.05.21	15	28500	5000	50

Алгоритм общего подхода к оценке эффективности маркетинговой акции представлен на рисунке 1. Во-первых, необходимо обеспечить тождественность показателей КГ и оставшейся ОГ. Если в качестве основного показателя выбрано, например, среднее значение выручки на участника за анализируемый период, то для оценки значимости различий между временными рядами ежедневной выручки на человека в ОГ и КГ целесообразно использовать парный тест Стьюдента ($p=0,95$) [Grubbs, 1969]. При этом КГ должна быть сформирована случайным образом из ЦА, дополнительно проводится проверка однородности сформированных выборок. Все клиенты со значениями показателя, не относящегося к интервалу $x_{\text{ср}} \pm t(p, f) * \sigma$, где $t(p, f)$ – значение коэффициента Стьюдента, σ – среднее квадратическое отклонение, удалялись из ОГ и КГ.

В дальнейшем оценивается достоверность различий между средними значениями разностей ежедневной выручки ОГ и КГ в период до проведения акции и в акционный период. В случае, если эти различия статистически значимы, то для расчета прибыли или потерь организации от проведения акции учитывается как доходная часть (дополнительный валовый доход в период проведения акции), так и затратная (зависит от размера бонусных выплат, доли выплаченных бонусов, стоимости смс).



Рис. 1. Оценка эффективности проведения маркетинговой акции для участников программы лояльности

Fig. 1. Evaluation of the effectiveness of a marketing campaign for loyalty program participants

Ежедневная выручка на каждого участника ОГ и КГ в период до акции и во время проведения акции определялась по следующим формулам:

$$R_{\text{ог}} = \frac{P_{\text{ог}}}{n_{\text{ог}}}, \quad (1)$$

$$R_{\text{кг}} = \frac{P_{\text{кг}}}{n_{\text{кг}}}, \quad (2)$$

где $P_{ог}$ и $P_{кг}$ – общая выручка ОГ и КГ на каждый день периода, $n_{ог}$ и $n_{кг}$ – размер однородных ОГ и КГ.

Далее, в период до акции и во время проведения акции рассчитывалась разность ежедневной выручки для ОГ и КГ:

$$\Delta R = R_{ог} - R_{кг} . \quad (3)$$

Для сформированного ряда значений ΔR в m -дневный период до проведения акции рассчитывалось $\Delta R_{ср}$, среднее квадратическое отклонение (σ) и верхняя граница доверительного интервала

$$\Delta R_+ = \Delta R_{ср} + t(p, f) \times \sigma , \quad (4)$$

где $t(p, f)$ – значение коэффициента Стьюдента, $p = 0,95$, $f = m - 1$.

Для оценки значимости различий между $\Delta R_{ср}$ до акции и $\Delta R_{ср}$ акция (фактическими и смоделированными) использовался парный тест Стьюдента ($p=0,95$).

Результаты и их обсуждение

Для оценки эффективности акций 1 и 2 сформированные случайным образом КГ и ОГ были проверены на однородность по показателю ежедневная выручка; проведенный парный тест Стьюдента подтвердил тождественность двух выборок по этому показателю ($p = 0,74$ ($>0,05$) для Акции 1, $p = 0,88$ ($>0,05$) для Акции 2).

Далее, для Акции 1 в период с 22.02.2021 по 16.05.2021 по формулам (1) и (2) были рассчитаны $R_{ца}$ и $R_{кг}$. Значения $\Delta R_{ср}$ до акции и $\Delta R_{ср}$ акция, полученные по формуле (3), составили, соответственно, 0,26 руб и 2,04 руб (рис. 2).

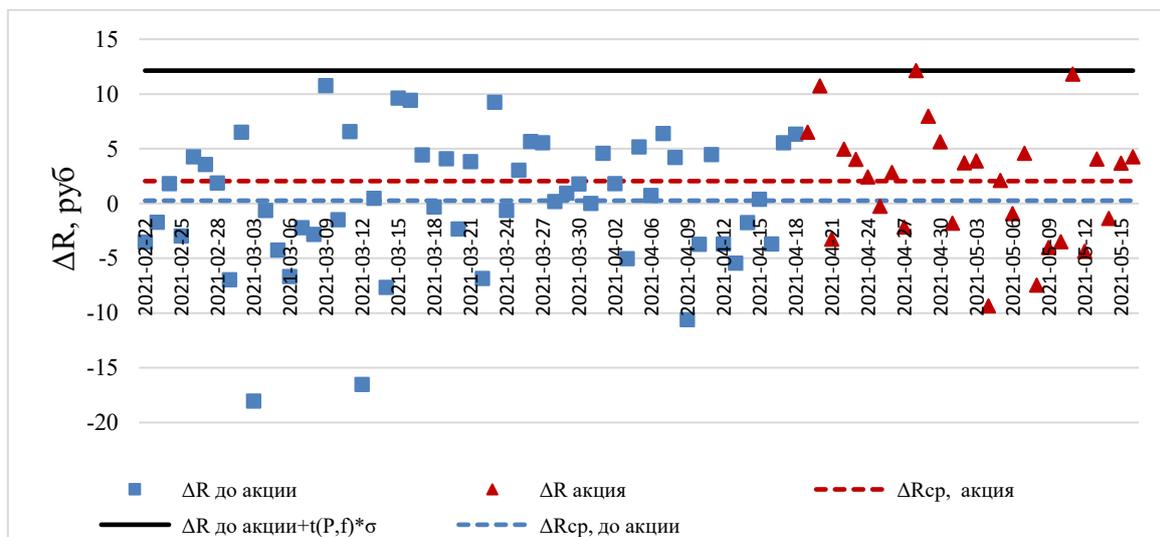


Рис.2. Основные показатели Акции 1 (17.04.2021 – 31.05.2021): $\Delta R_{ср}$, $\Delta R_{ср}$ до акции, $\Delta R_{ср}$ акция, ΔR_+
 Fig.2. Campaign's 1 main indicators (17.04.2021 – 31.05.2021): $\Delta R_{ср}$, $\Delta R_{ср}$ до акции, $\Delta R_{ср}$ акция, ΔR_+

Как видно, значение $\Delta R_{ср}$ до акции, как и ожидалось, близко к 0, в то же время $\Delta R_{ср}$ акция существенно меньше верхнего значения доверительного интервала, которое, согласно формуле (4), составило 12,13 руб, что не позволило говорить о статистически достоверном приросте выручки участника акции.

Схожие значения показателей получились и по итогам оценки акции 2 (рис. 3). Так, величина $\Delta R_{ср}$ до акции была равна 0,12 руб, а $\Delta R_{ср}$ акция – 1,29 руб, что также ниже верхнего значения доверительного интервала, находившегося на уровне 7,40 руб.

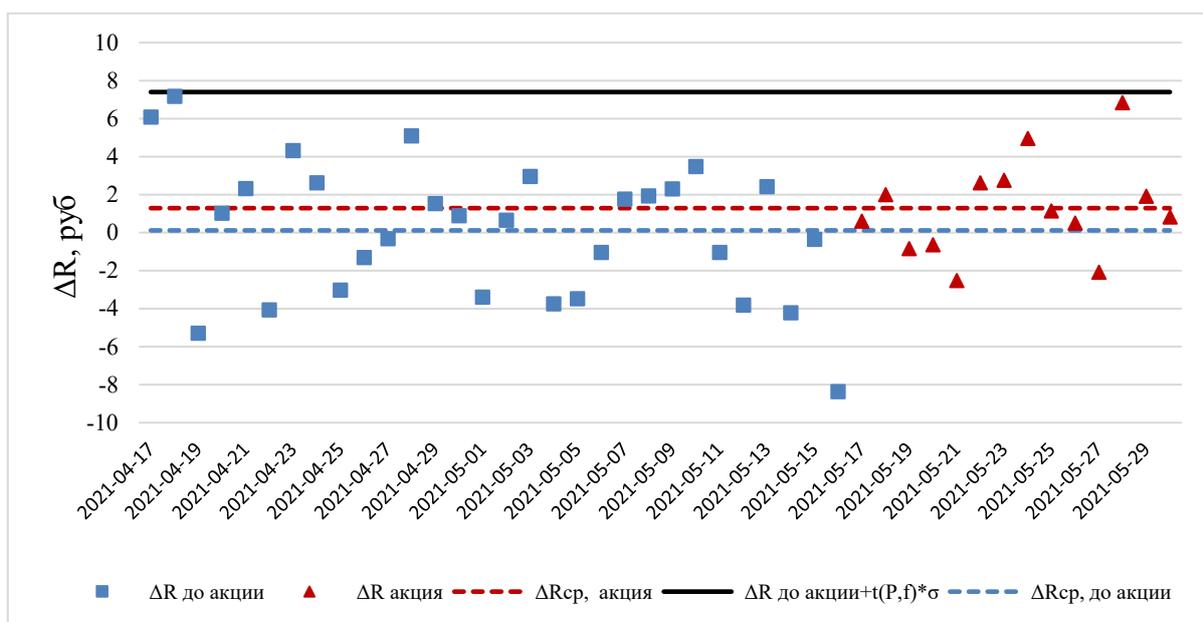


Рис. 3. Основные показатели Акции 2 (17.04.2021 – 31.05.2021): $\Delta R_{\text{ср}}$, $\Delta R_{\text{ср}}$ до акции, $\Delta R_{\text{ср}}$ акция, ΔR_{+}
 Fig.3. Campaign's 2 main indicators (17.04.2021 – 31.05.2021): $\Delta R_{\text{ср}}$, $\Delta R_{\text{ср}}$ до акции, $\Delta R_{\text{ср}}$ акция, ΔR_{+}

Таким образом, проведенный анализ показал, что, хотя в период проведения акций и наблюдалось положительное изменение выручки ОГ, однако, это изменение не являлось статистически достоверным и не дало возможности говорить об успешности акций. Для дальнейшей оценки были рассмотрены модели, отражающие прирост выручки к соответствующему показателю КГ в период проведения акции. В таблице 2 представлены смоделированные значения $\Delta R_{\text{ср}}$ акция для акции 1. Как видно из таблицы, статистически значимое различие в сравнении с $\Delta R_{\text{ср}}$ до акции впервые наблюдалось при 9 % приросте к средневзвешенной выручке в КГ в период до проведения акции.

Таблица 2
 Table 2

Оценка статистической достоверности различий смоделированных показателей $\Delta R_{\text{ср}}$ акция (при разных значениях прироста) и $\Delta R_{\text{ср}}$ до акции (Акция 1)
 Evaluation of the statistical significance of the differences in the modeled indicators $\Delta R_{\text{ср}}$ акция (values of growth are different) и $\Delta R_{\text{ср}}$ до акции (Campaign 1)

Показатели	% прироста к $R_{\text{кг}}$, руб						
	0 (факт)	3	5	7	8	9	10
$\Delta R_{\text{ср}}$ акция, руб	2,04±2,10	0,87±0,07	1,45±0,12	2,03±0,17	2,32±0,20	2,61±0,22	2,90±0,25
P	0,82 (P>0,05)	0,59 (P>0,05)	0,29 (P>0,05)	0,12 (P>0,05)	0,07 (P>0,05)	0,04 (P<0,05)	0,02 (P<0,05)

Проведенная оценка Акции 2 показала, что статистически достоверная разница $\Delta R_{\text{ср}}$ акция и $\Delta R_{\text{ср}}$ до акции наблюдалась при 13 % приросте выручки к средневзвешенной выручке КГ в доакционный период (таб. 3).

В соответствии с основной схемой исследования, на следующем этапе исследования проводилась оценка экономической эффективности акций 1 и 2, а также рассмотренных моделей с разным приростом выручки по отношению к КГ в период проведения акции. В таблице 4 представлены показатели, которые использовались для расчетов. Средний уро-



вень торговой надбавки в аптечной сети составлял 30 %, в Акции 1 приняло участие 10885, что превысило 45 % от общего размера ЦА.

Таблица 3
Table 3

Оценка статистической достоверности различий смоделированных показателей $\Delta R_{\text{ср}} \text{ акция}$ (при разных значениях прироста) и $\Delta R_{\text{ср}} \text{ до акции}$ (Акция 2)
 Evaluation of the statistical significance of the differences in the modeled indicators $\Delta R_{\text{ср}} \text{ акция}$ (values of growth are different) и $\Delta R_{\text{ср}} \text{ до акции}$ (Campaign 2)

Показатели	% прироста к $R_{\text{кг}}$, руб						
	0 (факт)	5	10	11	12	13	15
$\Delta R_{\text{ср}} \text{ акция}$, руб	1,63±1,54	0,81±0,10	1,62±0,20	1,78±0,22	1,94±0,25	2,10±0,27	2,42±0,31
P	0,91 (P>0,05)	0,46 (P>0,05)	0,12 (P>0,05)	0,08 (P>0,05)	0,06 (P>0,05)	0,04 (P<0,05)	0,02 (P<0,05)

Таблица 4
Table 4

Показатели для оценки экономической эффективности акций 1 и 2
 Indicators for assessing the economic efficiency of Campaign 1 and 2

Акция	Торговая надбавка, %	Размер ЦА, чел.	Участники акции, чел.	Доля выпл. бонусов, %	Стоимость СМС, руб	Затраты на СМС, руб	Бонусы, руб
Акция 1	30	23030	10885	89	1	20 030	484 383
Акция 2	30	33500	6408	92	1	28 500	294 768

В Акции 2, проведенной в более сжатые сроки, участвовало около 19 % ЦА. Общие затраты на СМС, при стоимости 1 рубль, составили, соответственно, 20030 руб для Акции 1 и 28500 руб для Акции 2. Всего, по итогам проведения Акции 1, бонусы были выплачены 89 % от числа участников, по итогам проведения Акции 2 – 92 %.

Для оценки экономической эффективности моделей каждой акции были рассчитаны предполагаемые затраты, с учетом размера бонуса, доли выплаченных бонусов, стоимости СМС. Размер издержек соответствовал общим потерям аптечной сети при 0 приросте выручки, и составлял около 505 тыс. руб при проведении Акции 1, и более 320 тыс. руб для Акции 2 (таб. 5–6). Очевидно, что затраты на проведение акции являлись постоянной величиной для любой рассмотренной модели. Дополнительный валовый доход аптечной сети рассчитывался по формуле 5. Как следует из таблицы 5, при проведении Акции 1 организация понесла убытки в размере 240000 руб. В то же время, согласно оценке эффективности в построенных моделях, минимально необходимый процент прироста выручки для достижения положительного результата должен был составить 14 %.

Как видно из таблицы 6, фактические потери аптечной сети при проведении Акции 2 составили 162 703 руб. Для получения неотрицательного экономического эффекта необходимо было обеспечить прирост выручки на уровне 21 %.

На рисунке 4 представлена графическая зависимость дополнительной прибыли (потерь) организации в зависимости от прироста выручки в период проведения акции. Возможно, что основным фактором, повлиявшим на угол наклона прямой, является более короткий срок проведения Акции 2 (две недели) в сравнении с Акцией 1 (4 недели). Вместе с тем длительные сроки проведения акций также несут в себе дополнительные риски, связанные с повышением размера выплаченных бонусов, и, соответственно, ростом затратной части.

Таблица 5
Table 5

Оценка экономической эффективности Акции 1 при фактическом и смоделированном приросте выручки в период проведения акции
Evaluation of the economic efficiency Campaign 1 with actual and simulated revenue growth during the promotion period

Прирост выручки к $R_{кт}$, %	Доп. выручка на уч-ка, средне-дневная, руб	Доп. выручка на уч-ка, за период, руб	Доп. выручка аптечной сети, за период, руб	Доп. валовый доход аптечной сети, руб	Доп. прибыль аптечной сети, руб
Факт	2,04	57,24	1 146 464	264 569	-239 844
0	0,00	0,00	0	0	-504 413
5	1,45	40,53	811 893	187 360	-317 053
10	2,90	81,07	1 623 786	374 720	-129 693
13	3,76	105,39	2 110 922	487 136	-17 277
14	4,05	113,49	2 273 300	524 608	20 195
15	4,34	121,60	2 435 679	562 080	57 667
20	5,79	162,14	3 247 572	749 440	245 027

Таблица 6
Table 6

Оценка экономической эффективности Акции 2 при фактическом и смоделированном приросте выручки в период проведения акции
Evaluation of the economic efficiency Campaign 2 with actual and simulated revenue growth during the promotion period

Прирост выручки к $R_{кт}$, %	Доп. выручка на уч-ка, среднедневная, руб	Доп. выручка на уч-ка, за период, руб	Доп. выручка аптечной сети, за период, руб	Доп. валовый доход аптечной сети, руб	Доп. прибыль аптечной сети, руб
Факт	1,63	24,41	695 783	160 565	-162 703
0	0,00	0,00	0	0	-323 268
5	0,81	12,12	345 296	79 684	-243 584
10	1,62	24,23	690 591	159 367	-163 901
15	2,42	36,35	1 035 887	239 051	-84 217
20	3,23	48,46	1 381 182	318 734	-4 534
21	3,39	50,89	1 450 241	334 671	11 403
25	4,04	60,58	1 726 478	398 418	75 150

Заключение

Таким образом, для оценки эффективности проведенной маркетинговой акции в торговой организации необходимо осуществить проверку однородности сформированных КГ и оставшейся ОГ, а также тождественности средних значений целевых показателей (например, ежедневной выручки на клиента) КГ и ОГ с использованием статистических критериев. В дальнейшем предлагается оценить достоверность различий между средними значениями разностей ежедневной выручки ОГ и КГ в период до проведения акции и в акционный период. Последующий анализ предполагает построение моделей и расчет прибыли от акции для фактических и смоделированных целевых показателей. На примере проведенных в крупной аптечной сети акций показано, что прирост ежедневной выручки в ОГ не являлся статистически достоверным, при этом для достижения положительного экономического эффекта необходим был прирост выручки на уровне 14 % для четырехнедельной акции и 21 % для двухнедельной. Использование предложенного подхода при предварительном планировании маркетинговых акций позволит оценить возможность достижения точки безубыточности и

принять решение о целесообразности проведения, корректировки длительности и целевой аудитории акции.

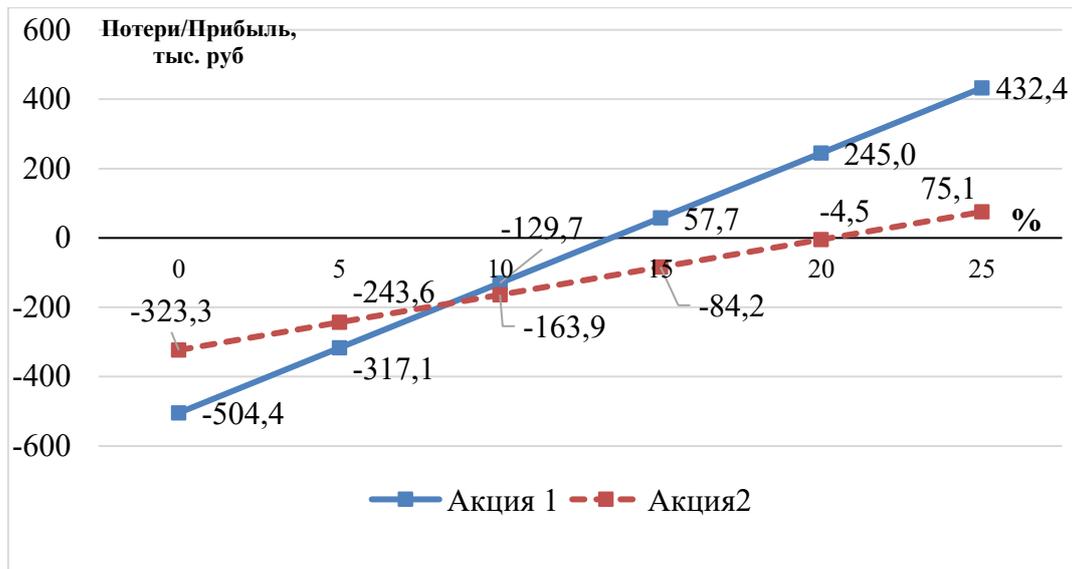


Рис. 4. Зависимость дополнительных потерь/прибыли аптечной сети от возможного прироста выручки при проведении Акций 1 и 2

Fig. 4. Dependence of additional losses/profits of the pharmacy chain on the possible increase in revenue during promotions 1 and 2

Список литературы

- Агеева Н.С., Воловская Н.М. 2019. Маркетинговые инструменты формирования потребительской лояльности. Экономика и бизнес: теория и практика, 5: 14–18.
- Величко Н.Ю. 2016. Инструменты оценки эффективности программ лояльности. Вестник университета Российской академии образования, 3:100–105.
- Ветрова Ю.А., Купчинская Ю.А. 2018. Финансовые показатели, как возможность прогнозирования эффективности маркетинговых акций. Бизнес-образование в экономике знаний, 1: 11–14.
- Жаров В. ТОП-200 аптечных сетей России по выручке за 2020 год. 2021. Vademecum, 2: 36–45.
- Кряжев Д., Гриценко П., Микова Е. 2021. ТОП-200 аптечных сетей России по выручке в первой половине 2021 года. Vademecum, 4: 24–32.
- Минько А.А. 2008. Статистика в бизнесе. М., ЭКСМО, 504 с.
- Мхитарян С.В., Данченко Л.А. 2018. Оценка результативности маркетинговых акций на основе тренд-сезонной модели продаж. Информационные технологии в экономике и управлении. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Махачкала. Изд-во ДагГТУ: 3–6.
- Ayvaz D., Aydoğan R., Akçura M.T., Şensoy M. 2021. Campaign participation prediction with deep learning. Electronic Commerce Research and Applications, 48: 101058. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2021.101058>.
- Epstein L.D., Flores A.A., Goodstein R.C., Milberg S.J. 2016. A new approach to measuring retail promotion effectiveness: A case of store traffic. Journal of Business Research, 69: 4394–4402. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.03.062>.
- F.E. Grubbs. 1969. Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. Technometrics, 11: 1–21. <https://doi.org/10.1080/00401706.1969.10490657>.
- Henzel J., Sikora M. 2020. Gradient boosting application in forecasting of performance indicators values for measuring the efficiency of promotions in FMCG retail. 15th Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS). IEEE: 59–68.
- Li X., Dahana W., Ye Q., Peng L., Zhou J. 2021. How does shopping duration evolve and influence buying behavior? The role of marketing and shopping environment. Journal of Retailing and Consumer Services, 62: 102697. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102607>.

- Li Z., Yada K., Zennyu Y. 2021. Duration of price promotion and product profit: An in-depth study based on point-of-sale data. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 58: 102277. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2020.102277>.
- Khoulja M., Subramaniam C., Vasudev V. 2020. A comparative analysis of marketing promotions and implications for data analytics. *International Journal of Research in Marketing*, 37: 151–174. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2019.07.002>.
- Ma L., Sun B. 2020. Machine learning and AI in marketing – Connecting computing power to human insights. *International Journal of Research in Marketing*, 37: 482–504. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2020.04.005>.
- Moodley R., Chiclana F., Caraffini F., Carter, J. 2020. A product-centric data mining algorithm for targeted promotions. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 54: 101940
- Ryals L., Wilson H. 2005. Experimental methods in market research: from information to insight. *International Journal of Market Research*, 47: 347–366. <https://doi.org/10.1177/147078530504700402>.
- Vakulenko Y., Shams P., Hellström D., Hjort K. 2019. Service innovation in e-commerce last mile delivery: Mapping the e-customer journey. *Journal of Business Research*, 101: 461–468. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.01.016>.
- Wang X., Wong Y., Teo C., Yuen K., Feng X. 2020. The four facets of self-collection service for e-commerce delivery: Conceptualisation and latent class analysis of user segments. *Electronic Commerce Research and Applications*, 39: 100896. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2019.100896>.
- Zhang D.J., Dai H., Dong L., Qi F., Zhang N., Liu X., Liu Z., Yan J. 2018. How do price promotions affect customer behavior on retailing platforms? Evidence from a large randomized experiment on Alibaba. *Production and Operations Management*, 27: 2343–2345. <https://doi.org/10.1111/poms.12964>.

References

- Ageeva N.S., Volovskaja N.M. 2019. Marketingovyje instrumenty formirovanija potrebitel'skoj lojal'nosti. *Jekonomika i biznes: teorija i praktika* [Marketing tools for the formation of consumer loyalty. Economics and Business: theory and practice], 5: 14–18.
- Velichko N.J. 2016. Instrumenty ocenki jeffektivnosti programm lojal'nosti. *Vestnik universiteta Rossijskoj akademii obrazovanija* [Tools for evaluating the effectiveness of loyalty programs. Bulletin of the University of the Russian Academy of Education], 3:100–105.
- Vetrova J.A., Kupchinskaja J.A. 2018. Finansovyje pokazateli, kak vozmozhnost' prognozirovaniya jeffektivnosti marketingovyh akcij. *Biznes-obrazovanie v jekonomike znaniy* [Financial indicators as an opportunity to predict the effectiveness of marketing campaigns. Business education in the Knowledge Economy], 1: 11–14.
- Zharov V. TOP 200 aptechnyh setej Rossii po vyruchke za 2020 god [TOP 200 pharmacy chains in Russia by revenue for 2020]. 2021. *Vademecum*, 2: 36–45.
- Krjazhev D., Gricenko P., Mikova E. 2021. TOP 200 aptechnyh setej Rossii po vyruchke v pervoj polovine 2021 goda [TOP 200 pharmacy chains in Russia by revenue in the first half of 2021]. *Vademecum*, 4: 24–32.
- Min'ko A.A. 2008. *Statistika v biznese* [Business statistics]. M., ЭКСМО, 504 с.
- Mhitarjan S.V., Danchenok L.A. 2018. Ocenka rezul'tativnosti marketingovyh akcij na osnove trend-sezonnnoj modeli prodazh. *Informacionnye tehnologii v jekonomike i upravlenii. Materialy III Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii, Mahachkala* [Evaluation of the effectiveness of marketing campaigns based on a trend-seasonal sales model. Information technologies in economics and management. Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference, Makhachkala]. DSTU Publishing House: 3–6.
- Ayvaz D., Aydoğan R., Akçura M.T., Şensoy M. 2021. Campaign participation prediction with deep learning. *Electronic Commerce Research and Applications*, 48: 101058. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2021.101058>.
- Epstein L.D., Flores A.A., Goodstein R.C., Milberg S.J. 2016. A new approach to measuring retail promotion effectiveness: A case of store traffic. *Journal of Business Research*, 69: 4394–4402. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.03.062>.
- F.E. Grubbs. 1969. Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. *Technometrics*, 11: 1–21. <https://doi.org/10.1080/00401706.1969.10490657>.



- Henzel J., Sikora M. 2020. Gradient boosting application in forecasting of performance indicators values for measuring the efficiency of promotions in FMCG retail. 15th Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS). IEEE: 59–68.
- Li X., Dahana W., Ye Q., Peng L., Zhou J. 2021. How does shopping duration evolve and influence buying behavior? The role of marketing and shopping environment. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 62: 102697. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102607>.
- Li Z., Yada K., Zenny Y. 2021. Duration of price promotion and product profit: An in-depth study based on point-of-sale data. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 58: 102277. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2020.102277>.
- Khoulja M., Subramaniam C., Vasudev V. 2020. A comparative analysis of marketing promotions and implications for data analytics. *International Journal of Research in Marketing*, 37: 151–174. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2019.07.002>.
- Ma L., Sun B. 2020. Machine learning and AI in marketing – Connecting computing power to human insights. *International Journal of Research in Marketing*, 37: 482–504. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2020.04.005>.
- Moodley R., Chiclana F., Caraffini F., Carter, J. 2020. A product-centric data mining algorithm for targeted promotions. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 54: 101940
- Ryals L., Wilson H. 2005. Experimental methods in market research: from information to insight. *International Journal of Market Research*, 47: 347-366. <https://doi.org/10.1177/147078530504700402>.
- Vakulenko Y., Shams P., Hellström D., Hjort K. 2019. Service innovation in e-commerce last mile delivery: Mapping the e-customer journey. *Journal of Business Research*, 101: 461–468. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.01.016>.
- Wang X., Wong Y., Teo C., Yuen K., Feng X. 2020. The four facets of self-collection service for e-commerce delivery: Conceptualisation and latent class analysis of user segments. *Electronic Commerce Research and Applications*, 39: 100896. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2019.100896>.
- Zhang D.J., Dai H., Dong L., Qi F., Zhang N., Liu X., Liu Z., Yan J. 2018. How do price promotions affect customer behavior on retailing platforms? Evidence from a large randomized experiment on Alibaba. *Production and Operations Management*, 27: 2343–2345. <https://doi.org/10.1111/poms.12964>.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Степанов Алексей Сергеевич, доктор фармацевтических наук, ведущий научный сотрудник, Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН, Хабаровск, Россия

Чемоданов Артём Алексеевич, студент кафедры высшей математики естественнонаучного института, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey S. Stepanov, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Leading Researcher Khabarovsk Federal Research Center FEB RAS, Khabarovsk, Russia

Artem A. Chemodanov, Student of the Department of Higher Mathematics of the Natural Science Institute of the Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia



КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 621.396

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-103-120

Исследование и моделирование цифровых антенных решеток с направленными элементами по азимуту и углу места при распространении ОВЧ-сигналов с потерями за счет дифракции

Нечаев Ю.Б., Пешков И.В.

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина,
Россия, 399770, г. Елец, ул. Коммунаров, 28
E-mail: ilvpeshkov@gmail.com

Аннотация. Рассматривается проблема использования цифровых антенных решеток (ЦАР) с направленными элементами для УКВ диапазона. Распространение УКВ волн сопряжено такими трудностями, как затухание, рассеяние, а также дифракция, одним из способов преодоления которых может стать цифровое формирование луча в азимутальной и угломестных плоскостях. В работе представлены результаты моделирования распространения сигналов на трассе г. Елец – г. Липецк в предположении, что на передающей стороне используется симметричный диполь, а кольцевая (КАР) и полудодекаэдрическая формы расположения направленных элементов Яги – Уда на приемной ЦАР. Используется метод Эпштейна – Петерсона совместно с моделью одиночного клиновидного препятствия Международного союза электросвязи (МСЭ) для вычисления общих дифракционных потерь. Оценивается вероятность битовых ошибок в зависимости от мощности передатчика, а также в присутствии тринадцати изолированных клиновидных препятствий, расположенных на трассе распространения длиной 70 км.

Ключевые слова: радиопеленгация, цифровое диаграммообразование, цифровые антенные решетки, MUSIC, вероятность битовой ошибки, дифракция

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Липецкой области в рамках научного проекта № 20-47-480002.

Для цитирования: Нечаев Ю.Б., Пешков И.В. 2022. Исследование и моделирование цифровых антенных решеток с направленными элементами по азимуту и углу места при распространении ОВЧ-сигналов с потерями за счет дифракции. Экономика. Информатика, 49(1): 103–120. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-103-120

Researching and simulation of digital antenna arrays with directive elements on azimuth – elevation while the VHF-signals propagation with diffraction losses

Yuri B. Nechaev, Ilya W. Peshkov

Bunin Yelets State University, 28 Kommunarov St, Yelets, 399770, Russia
E-mail: ilvpeshkov@gmail.com

Abstract. The paper is devoted to the problem of using digital antenna arrays equipped with directional elements for spatial filtering in the azimuthal and elevation planes. In particular, the digital beamforming is investigated for VHF communication channels in the range below 1 GHz, taking into account the occurrence of obstacles in the path of direct propagation of radio waves. The digital beamforming on azimuth and



elevation can be used to solve the problems. The paper presents the results of modeling the signal propagation in the VHF range on the link of Yelets – Lipetsk. It is assumed that a symmetrical dipole is used on the transmitting side, and the Yagi-Uda directional antenna is used on the receiving digital antenna array. The circular and semi-dodecahedral geometries of the arrangement of the elements of the receiving digital antenna array are modeled. The bit error rate is estimated depending the transmitter power. The Epstein-Peterson method is described in conjunction with the International Telecommunication Union (ITU) single knife-edge obstacle model for calculating multiple diffraction loss. The study was conducted for thirteen isolated knife-edge obstacles located along a propagation path of 70 km.

Keywords: Direction-of-arrival, digital beamforming, smart antenna, MUSIC, directional antennas, bit error rate, diffraction

Acknowledgements: the reported study was partially supported by RFBR and Lipetsk Region, research project No 20-47-480002.

For citation: Nechaev Yu.B., Peshkov I.W. 2022. Researching and simulation of digital antenna arrays with directive elements on azimuth – elevation while the VHF-signals propagation with diffraction losses. *Economics. Information technologies*, 49(1): 103–120 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-103-120

Введение

Распространение радиоволн в сложных природных условиях [Tikhomirov et al., 2017], в том числе состоящих из гор [Elshafie et al., 2013], зданий [Затучный, Сладь, 2015], холмов [Recommendation ITU-R, 2002] и даже деревьев [Попов, 2015] и других высоких препятствий, вызывает большую озабоченность при проектировании беспроводных сетей связи [Gupta, 2018].

Известно, что электромагнитная волна беспроводной системы связи, распространяясь на большое расстояние, может искажаться и ослабляться из-за препятствий на её пути [Бокков, 2013 и др.]. В данном случае сигнал УКВ диапазона частот может отражаться от подстилающих и других поверхностей, испытывать поглощения, рассеивания, а также дифракцию [Кубанов, 2013]. Эффект отклонения возникает в том случае, когда волна встречает различные преграды на своем пути [Recommendation ITU-R 526, 2019]. Таким образом, возникает дополнительная величина ослабления напряженности поля после дифракции на каком-либо препятствии помимо потерь при прямом распространении [Ruidong et al., 2015]. При определении дифракционных потерь препятствия моделируются либо как клиновидные [Bibb et al., 2014], либо как дифракция на клине [Боровский, Галкин, 2014]. Последний тип является недопустимой аппроксимацией в областях пространства в переходе между светом и тенью и в теневой области [Муад Халед Мохамад, 2015]. Кроме того, подходящими применениями такой модели являются случаи дифракции вокруг угла здания, над коньком крыши, или же когда местность можно охарактеризовать в виде холма с клиновидной вершиной [Recommendation ITU-R 526, 2019]. Когда имеется больше двух преград естественного происхождения, они описываются как множественные клиновидные препятствия [Lee, Park, 2018].

Кроме того, в настоящее время получили широкое распространение так называемые эмпирические модели оценки каналов радиосвязи. Данные подходы строятся на основе статистической обработки измеренных данных и не учитывают реальные физические процессы распространения электромагнитных волн. Это ограничивает применение данных методов моделирования очень специфическими условиями окружающей среды на момент измерения, а также особенностями методики измерения (применяемые антенны, полосы пропускания, используемые поляризации) [Попов, 2016 и др.]. Поэтому для моделирования цифровых антенных решёток на реальных трассах необходимо применение аппарата геометрической оптики и трассировки лучей для учёта рельефа земной поверхности [Yun Zh, 2015]. Кроме того, в последнее время нашли широкое распространение параболические уравнения [Михайлов, Пер-

мяков, Сазонов, 2014]. Однако в первом приближении представляется интересным проанализировать важнейшие характеристики цифрового диаграммообразования УКВ сигналов при распространении вдоль неравномерной земной поверхности с учётом дифракции и многолучевости.

2. Объекты и методы исследования

2.1. Модель распространения в свободном пространстве

Рассмотрим цифровое формирование диаграммы направленности, применяемое к УКВ-каналам связи. Известно несколько моделей распространения радиосигналов за городом [Кубанов, 2013], среди которых можно отметить такие, как: передача сигнала в свободном пространстве без препятствий в воздухе (прямой луч на рис. 1) [Nechaev et al., 2021]; распространение земной волны с учетом отражения от поверхности [Nechaev et al., 2021], а также дифракция на холмах, зданиях и других объектах (дифракционный луч на рис. 1). Последние два можно отнести к многолучевому распространению.

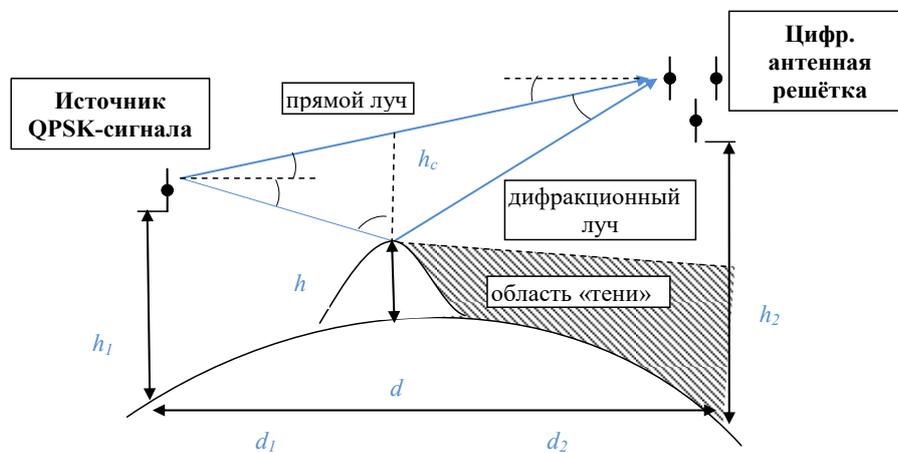


Рис. 1. Цифровая антенная решётка с использованием модели одиночного препятствия
 Fig. 1. Digital antenna array along with single obstacle model

На передающей стороне одной из распространенных форм антенн, используемой для трансляции сигнала от мобильного абонента к базовой станции, является полуволновый диполь [Balanis, 2005]:

$$E_{\theta} \cong j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \right], \quad (1)$$

где r – расстояние от антенны до точки наблюдения, I_0 – максимальный ток в пучности антенны. В качестве тока I_0 в дальнейшем будем считать, что на антенну подаётся на передающей стороне сигнала с определенной модуляцией, в частности в данной работе, *QPSK*. Таким образом, если в передающей антенне задана не излучаемая мощность, а амплитуда входного тока I_0 , то аналогом формулы (1) является соотношение:

$$E(\phi, \theta) \cong \frac{60\pi I_s I_D}{\lambda r} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \right], \quad (2)$$



здесь $I_s(t) = A(t)e^{j\phi(t)} = \Re\{I_s(t)\} + j\Im\{I_s(t)\}$ – комплексный узкополосный сигнал соответствующего сигнального созвездия, l_d – действующая длина антенны. С учётом того, что, как правило, I_s является нормированной величиной, тогда ток на клеммах антенны для соответствующей выходной мощности передатчика равняется:

$$I_s(t) = \sqrt{\frac{1}{2}P_s} [\Re\{I_s(t)\} + j\Im\{I_s(t)\}],$$

где P_s – выходная мощность тока, подводимая к антенне.

Эффективная длина антенны, будь то линейная или апертурная антенна, – это величина, которая используется для определения напряжения, индуцируемого на клеммах разомкнутой цепи антенны, когда на нее падает волна. Она связана с коэффициентом направленного действия вибраторной антенны соотношением [Пониматкин, Шпилевой, 2010]:

$$l_d = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{R_\Sigma D}{120}},$$

где R_Σ – сопротивление излучения антенны, D – коэффициент направленного действия.

На приемной стороне моделируется ЦАР, также снабженная дипольными элементами, расположенными в пространстве по окружности [Nechaev, 2020]:

$$\mathbf{a}(\phi, \theta) = \begin{bmatrix} g(\phi_0, \theta_0) e^{j[-kR \cos(\theta - \gamma_0) \sin(\phi)]} \\ g(\phi_1, \theta_1) e^{j[-kR \cos(\theta - \gamma_1) \sin(\phi)]} \\ \dots \\ g(\phi_{N-1}, \theta_{N-1}) e^{j[-kR \cos(\theta - \gamma_{N-1}) \sin(\phi)]} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

или полудодекаэдр (полусфера) [Nechaev, 2020]:

$$\mathbf{a}(\theta, \varphi) = \begin{bmatrix} g_1(\theta, \varphi + \frac{\pi}{2}) e^{jk\mathbf{R}_z(0)[0,0,r_{in}]^T} \\ g_2(\theta + \frac{\pi}{2.5}, \varphi + \frac{\pi}{6.8}) e^{jk\mathbf{R}_z(\frac{\pi}{2.5})[0,\frac{\lambda}{2},\frac{r_{in}}{2}]^T} \\ g_3(\theta + 2\frac{\pi}{2.5}, \varphi + \frac{\pi}{6.8}) e^{jk\mathbf{R}_z(2\frac{\pi}{2.5})[0,\frac{\lambda}{2},\frac{r_{in}}{2}]^T} \\ g_4(\theta + 2\frac{\pi}{2.5}, \varphi + \frac{\pi}{6.8}) e^{jk\mathbf{R}_z(3\frac{\pi}{2.5})[0,\frac{\lambda}{2},\frac{r_{in}}{2}]^T} \\ g_5(\theta + 4\frac{\pi}{2.5}, \varphi + \frac{\pi}{6.8}) e^{jk\mathbf{R}_z(4\frac{\pi}{2.5})[0,\frac{\lambda}{2},\frac{r_{in}}{2}]^T} \\ g_1(\theta + 5\frac{\pi}{2.5}, \varphi + \frac{\pi}{6.8}) e^{jk\mathbf{R}_z(5\frac{\pi}{2.5})[0,\frac{\lambda}{2},\frac{r_{in}}{2}]^T} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число или коэффициент распространения волны (λ – длина волны),

R – радиус кольцевой АР, $\mathbf{R}_z(\theta)$ – матрица вращения вокруг оси z , r_{in} – внутренний радиус полудодекаэдра, $g_0(\theta)$, $g_1(\theta), \dots, g_{N-1}(\theta)$ – действительные числа, представляющие амплитуды откликов антенных элементов в направлениях θ и φ , как в выражении для напряженности поля $E(\phi, \theta)$ (1-2). Кроме того, в статье рассматривается случай, когда предполагается, что в качестве элементов ЦАР моделируются антенны Яги – Уда [Пониматкин, Шпилевой, 2010]:

$$F_{yag}(\phi, \theta) \cong \left| \frac{\sin \left[\frac{N_{yag} + 2}{2} kd_{yag} (1 - \cos(\theta)) \right]}{\sin \left[\frac{1}{2} kd_{yag} (1 - \cos(\theta)) \right]} \right|$$

2.2. Модель шума

При энергетическом расчете линии связи представляет интерес не сама напряженность поля в точке приема, а мощность в нагрузке приемной антенны или электродвижущая сила (ЭДС) на ее выходе. В теории антенн доказывается, что эти параметры определяются соотношением:

$$\mathbf{e}_{\text{ЭДС}} = \mathbf{a}(\phi, \theta) l_d E(\phi, \theta),$$

здесь $\mathbf{e}_{\text{ЭДС}}$ – N -мерный комплексный вектор сигналов с выходов антенных элементов ЦАР.

Далее необходимо определить тепловой, а также иные источники шума в каналах ЦАР. Для этого воспользуемся таким понятием, как шумовая температура:

$$P_{\text{ш}} = k_b \Delta f T_{\text{ш}}, \quad (5)$$

где k_b – постоянная Больцмана, $P_{\text{ш}}$ – мощность шума на входе ЦАР, $T_{\text{ш}}$ – шумовая температура, которая показывает, насколько нужно нагреть активное сопротивление, равное входному сопротивлению приемника, чтобы оно создало в нем такую же мощность шума, как и реальный источник.

Представление шумов приемника и внешних шумов, поступающих с антенны, через один параметр – шумовую температуру (5) – позволяет проводить их сравнение и определять полную мощность шумов на его входе. Таким образом, полная шумовая температура на входе приемника равна [Боков, 2013 и др.]:

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{ш.лр}} + T_{\text{ш.соб}} + \eta_{\phi} T_{\text{ш.вн}}$$

и

$$T_{\text{ш.вн}} = T_{\text{ш.атм}} + T_{\text{ш.косм}} + T_{\text{ш.пром}} + T_{\text{ш.тепл}},$$

где $T_{\text{атм}}$ – атмосферные помехи, вызванные разрядами молний, $T_{\text{пром}}$ – промышленные помехи, созданные излучением промышленных и бытовых электрических установок, $T_{\text{косм}}$ – космические помехи, вызванные излучением космических объектов — галактик, звезд, планет, Солнца, Луны и т. п., $T_{\text{тепл}}$ – шумы, вызванные радиоизлучением нагретой поверхности Земли и газов атмосферы.

Кроме того, антенна и фидер, обладая собственным активным сопротивлением, являются источником тепловых шумов, шумовая температура которых определяется по формуле [Recommendation ITU-R 372, 2019]:

$$T_{\text{ш.соб}} = T_0 ((1 - \eta_{\phi}) + \eta_{\phi} (1 - \eta_a)),$$

где η_{ϕ} и η_a — коэффициенты полезного действия фидера и антенны, T_0 – реальная температура приемника, K (обычно принимается равной 290 К). Каждый элемент имеет собственные шумы, которые определяются в основном входными цепями и пересчитываются к его входу. Мощность шумов приемника может быть выражена также через шумовую температуру приемника:

$$T_{\text{ш.лр}} = T_0 (F - 1),$$

где F – коэффициент шума приемника. Таким образом, комплексный шум на выходе каналов ЦАР будет иметь вид:



$$\mathbf{n}(t) = \sqrt{\frac{P_{ш}}{2}} (\boldsymbol{\sigma}_{\text{р}}(t) + j\boldsymbol{\sigma}_{\text{з}}(t)),$$

где $P_{ш}$ – мощность шума, $\mathbf{n}(t)$ – N -мерный комплексный вектор шума, $\boldsymbol{\sigma}(t)$ – N -мерный комплексный вектор, описывающий гауссовский случайный процесс с нулевым средним.

Таким образом, можно записать N -мерный вектор сигналов, помех и шума на выходе цифровой антенной решётки:

$$\vec{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{e}_{\text{ЭДС}} + \vec{\mathbf{n}}(t). \quad (6)$$

Как видно из рис. 1, математическая модель позволяет генерировать QPSK-сигнал с шумом. Затем задействовать фазовые задержки кольцевой АР, а также усиление по амплитуде, характерное для полуволнового диполя на каждом элементе. Затем происходит накопление сигнала, после чего оценка угловых координат с последующим цифровым формированием диаграммы направленности.

2.3. Дифракционная модель распространения

На рис. 1 показан холм высотой h , расположенный между передающей и приемной антеннами, т. е. диполь и ЦАР в нашем случае. Этот холм можно смоделировать как полуплоскость или единичное клиновидное препятствие. Предполагается, что от вершины холма нет зеркального отражения. Также будем считать, что холм блокирует любые возможные отражения от земли, которые достигают приемной антенны. Таким образом, полученное поле состоит только из членов прямого луча и дифракционного. Пусть h_c – высота просвета от данной преграды до прямого луча. Тогда $h_c < 0$ соответствует тому, что кромка клиновидного препятствия находится ниже линии прямой видимости, и поэтому существуют два пути распространения, как показано на рис. 1. При $h_c > 0$ преграда ограничивает прямой путь. Таким образом, на приёмнике остаётся только дифракционная волна. d_1 и d_2 – соответствующие горизонтальные расстояния до плоскости клиновидного препятствия, тогда $d = d_1 + d_2$ [Gross, 2015].

Согласно Рекомендации МСЭ [Recommendation ITU-R 526, 2019], метод оценки дифракционных потерь основан на анализе участка профиля от точки с индексом «а» до точки с индексом «b» ($a < b$), как показано на рис. 2. Если $a + 1 = b$, то промежуточной точки не существует, и дифракционные потери на участке трассы равны нулю. Или же это построение используется путем определения H_c ($a < n < b$) и выбора точки с наибольшим значением H_c . Значение параметра Френеля – Кирхгофа H_c для n -й точки профиля определяется по формуле:

$$H_c \approx h_c \sqrt{\frac{2d}{\lambda d_1 d_2}}, \quad (7)$$

где

$$h_c = h_n + \left[\frac{d_{an} d_{nb}}{2r_e} \right] - \left[\frac{(h_a d_{nb} + h_b d_{an})}{d_{ab}} \right],$$

где h_a, h_b, h_n – вертикальные высоты, как показано на рисунке 15, d_{an}, d_{nb}, d_{ab} – горизонтальные расстояния, как показано на рисунке 15, r_e – эквивалентный радиус Земли, λ : длина волны.

Вывод решения для дифракционного поля получен у Коллина [Collin, 1985] или у Джордана и Бальмейна [Jordan, Balmain, 1968]. Можно показать, что коэффициент усиления/ослабления на трассе из-за дифракции определяется выражением Френеля – Кирхгофа

$$F_d = \frac{2}{\sqrt{2}} \left| \int_{-H_c}^{\infty} \exp(-j\pi u^2 / 2) du \right|. \quad (8)$$

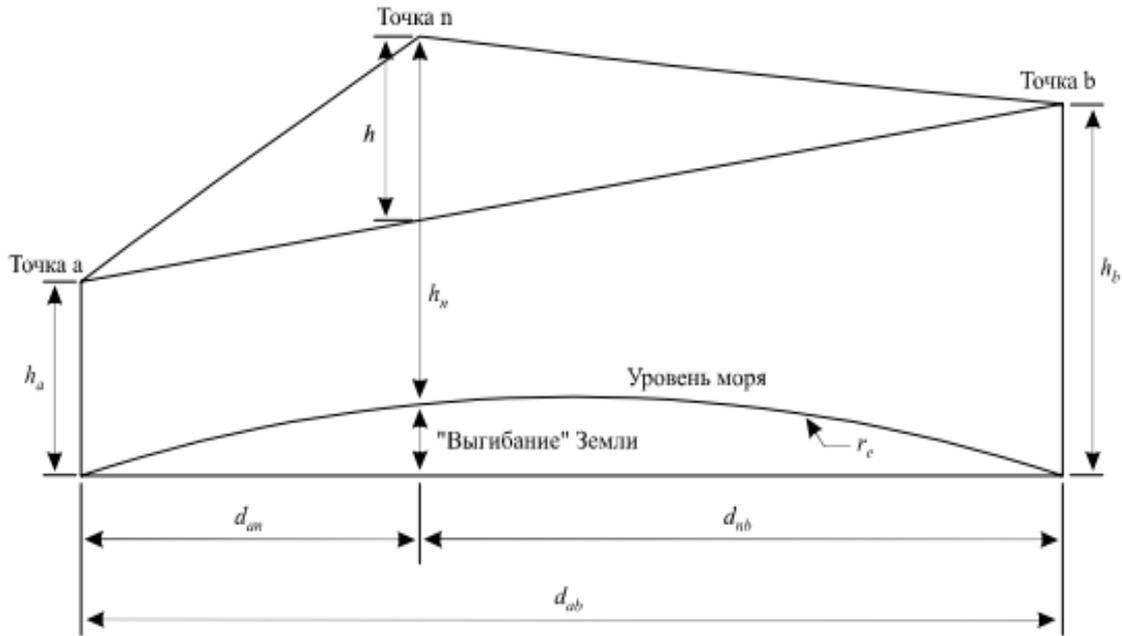


Рис. 2. Геометрия для единичной кромки препятствия
 Fig. 2. Geometry of single knife-edge obstacle

Таким образом, можно переписать выражение (2), используя (7), чтобы принять во внимание коэффициент ослабления на пути распространения F_d с учётом дифракции:

$$\frac{\exp(-jkr)}{r} F_d. \quad (9)$$

Обычно при связи на большие расстояния Земля изгибается между передатчиком и приемником. Кривизна земной поверхности, которая ограничивает дальность связи, требующую прямой видимости, называется «выгибанием». Изменение градиента рефракции изменяет выступ земли. Это изменение выступа земли изменяет высоту препятствий, видимых сигналом. Дифракционные потери пропорциональны высоте препятствий. Следовательно, изменения градиента рефракции атмосферы влияют на выгибание Земли, что, в свою очередь, влияет на высоту препятствия, а затем на общие дифракционные потери, которые могут возникнуть в результате препятствия с множеством режущих кромок.

Если высотный профиль изменения рефракции линеен, т. е. градиент рефракции остается постоянным вдоль траектории луча, возможно преобразование, которое позволяет рассматривать распространение как прямолинейное. Это преобразование предполагает, что распространение происходит над гипотетической Землей с эквивалентным радиусом $R_e = ka$ при:

$$\frac{1}{ka} = \frac{1}{a} + \frac{dn}{dh} = \frac{1}{R_e},$$

где a – фактический радиус Земли, а k – коэффициент эквивалентного радиуса Земли (k -фактор). В результате такого геометрического преобразования траектории лучей становятся линейными независимо от угла места.

Строго говоря, градиент рефракции остается постоянным, только если трасса горизонтальна. На практике для высот менее 1000 м экспоненциальную модель усредненного профиля индекса рефракции можно заменить линейной. Соответствующий k -фактор $k = 4/3$ [Recommendation ITU-R 526, 2019].

2.4. Алгоритмы моделирования множественных дифракционных потерь

Обычно, когда сигнал распространяется от передатчика к приемнику, он будет встречать от нуля до нескольких препятствий. Каждая преграда вызывает дифракцию, а уровень принимаемого сигнала определяется чистыми дифракционными потерями (8) и эффектами других механизмов распространения. Для расчета дифракционных потерь нескольких объектов используются многие модели в рамках Единой теории дифракции. Каждая модель отличается по сложности и точности, которые варьируются от одной среды распространения к другой. Самые известные модели – Буллингтона, Дейгута и Эпштейн – Петерсона.

Каждая модель отличается своим подходом к определению входных данных для уравнения дифракционного параметра Френеля – Кирхгофа (8) и того, какая кромка вносит наибольший вклад в потери. Модель Буллингтона [Bullington, 1967] использует самый простой и наименее точный подход и сводит профиль к одному острiu. Модель Эпштейна – Петерсона [Epstein, Peterson, 1953] рассматривает каждое значительное острие ножа отдельно и суммирует каждую потерю на дифрагирующем пути. Модель Дейгута [Deygout, 1966] идентифицирует доминирующее лезвие ножа и рассчитывает все потери по нему.

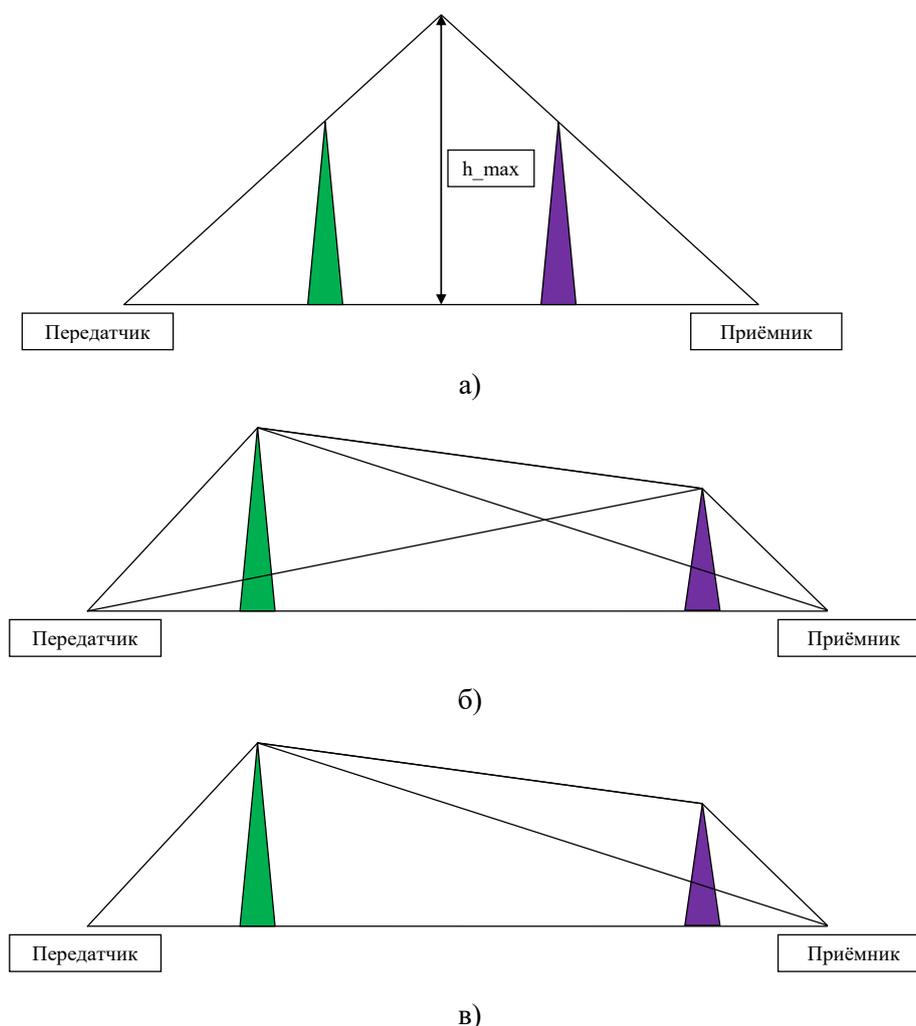


Рис. 3. Модели расчёта дифракционных потерь: а) Буллингтона, б) Эпштейна – Петерсона, в) Дейгута
Fig. 3. Calculation models of diffraction losses: a) Bullington, b) Epstein – Peterson, c) Deygout

Модель Эпштейна – Петерсона представляет собой дифракционную модель, которая учитывает все препятствующие объекты. Данная модель рассматривает первый объект препятствия как новый источник сигнала. Следующим шагом является рассмотрение следующего клиновидного препятствия (между новым источником и приемником) как новой преграды.

Каждый раз происходит переход на один шаг к следующему объекту и повторение вычисления (7–8), пока не останется никаких препятствий. Чистые дифракционные потери – это сумма дифракционных потерь на каждом шаге. Это дает приемлемую ошибку, которая увеличивается, когда объекты препятствия расположены близко друг к другу. Несмотря на то, что модель Эпштейна – Петерсона дает меньше ошибок, чем модель Буллингтона, она систематична по сравнению с моделью Дейгута, как указано в [Yan et al., 2017].

Как уже было показано выше, если имеется просвет между препятствием и лучом прямой видимости между передатчиком h_a и приёмником h_b , как показано на рис. 1 и 2, то в точке приёма суммируются две волны: прямая и дифракционная:

$$E_i(\phi, \theta) = E_{i-1}(\phi, \theta)F_d e^{jk(r_1-r_2)} + E_{i-1}(\phi, \theta)$$

здесь r_1 – расстояние прямого луча, r_2 – расстояние пути отраженного луча после огибания препятствия, i – напряжённость поля, вычисленная после прохождения i -й единичной кромки препятствия.

Расстояние прямого луча можно определить:

$$r_1 = \sqrt{d^2 + (h_2 - h_1)^2},$$

где d – расстояние между пользователем и ЦАР, h_1 – высота антенны пользователя, h_2 – высота подвеса ЦАР.

Длина пути дифрагирующего луча составляет:

$$r_2 = \sqrt{d^2 + (h_2 + h_1)^2}.$$

Если же кромка препятствует распространению, имеется только один луч:

$$E_i(\phi, \theta) = E_{i-1}(\phi, \theta)F_d.$$

Таким образом, потери для каждого отдельного объекта препятствия суммируются по очереди, используя высоту над пунктирной линией (рис. 1) как эффективную высоту края. Модель Эпштейна – Петерсона является потенциально лучшей, но вызывает большие ошибки на путях с близко расположенными краями.

Обобщённый алгоритм вычисления потерь при наличии непрозрачных препятствий можно представить в виде следующей диаграммы:

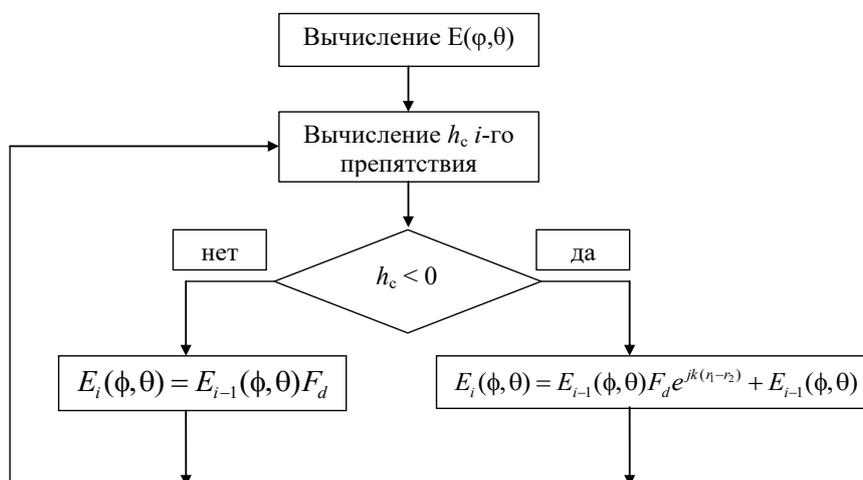


Рис. 4. Вычисление дифракционных потерь на нескольких препятствиях

Fig. 4. Multiple diffraction loss calculation



2.5. Пространственная обработка

На практике матрица пространственной ковариации \mathbf{R} получается из набора K_{Sample} временных отсчетов (6):

$$\hat{\mathbf{R}} = \frac{1}{K_{Sample}} \sum_{k=1}^{K_{Sample}} \bar{\mathbf{x}}(k)^H \bar{\mathbf{x}}(k),$$

где $\bar{\mathbf{x}}(k)$ – отсчет сигнала от элементов ЦАР в k -й момент времени.

Оценка направления прихода в простейшем случае выполняется посредством электронного качания главного лепестка диаграммы направленности. Этот метод может быть выполнен механически или на основе аналоговых фазовращателей. Однако, поскольку работа исследует ЦАР, мы рассмотрим фазированную решетку (ФАР):

$$P_{FAA}(\varphi, \theta) = \frac{\mathbf{a}(\varphi, \theta)^H \hat{\mathbf{R}} \mathbf{a}(\varphi, \theta)}{\mathbf{a}(\varphi, \theta)^H \mathbf{a}(\varphi, \theta)}. \quad (10)$$

Пространственный спектр $P_{FAA}(\varphi, \theta)$ имеет низкое разрешение, но легко реализуется. Пиковые значения $P_{FAA}(\varphi, \theta)$ указывают на координаты сигнала. Кроме того, цифровое качание максимума диаграммы направленности для приема полезного сигнала можно получить после вычисления вектора весовых коэффициентов:

$$\bar{\mathbf{w}}_{FAA} = \frac{\bar{\mathbf{a}}(\theta_0, \varphi_0)}{\sqrt{\bar{\mathbf{a}}(\theta_0, \varphi_0)^H \bar{\mathbf{a}}(\theta_0, \varphi_0)}}. \quad (11)$$

Для оценки координат сигналов с большей точностью и разрешающей способностью используется метод *MUSIC*:

$$P_{MUSIC}(\theta, \varphi) = \frac{1}{\bar{\mathbf{a}}^H(\theta, \varphi) \mathbf{E}_n \mathbf{E}_n^H \bar{\mathbf{a}}(\theta, \varphi)}, \quad (12)$$

где \mathbf{E}_n – матрица шума. Специальный вектор весовых коэффициентов необходим также для реализации подавления как помех, так и шума, а также усиления полезного сигнала, то есть реализации полной функциональности ЦАР. Весовой вектор, который максимизирует отношение сигнал / шум + шум, может быть получен [Nechaev, 2018]:

$$\bar{\mathbf{w}} = \frac{\hat{\mathbf{R}}^{-1} \bar{\mathbf{a}}(\theta_0, \varphi_0)}{\bar{\mathbf{a}}(\theta_0, \varphi_0)^H \hat{\mathbf{R}}^{-1} \bar{\mathbf{a}}(\theta_0, \varphi_0)}, \quad (13)$$

где $\bar{\mathbf{a}}(\theta_0, \varphi_0)$ – N -мерный вектор полезного сигнала после оценки пространственного спектра $P_{MUSIC}(\varphi, \theta)$.

3. Результаты и обсуждение

Рассмотрим величину шума, а также параметры передаваемого сигнала, используемые далее при моделировании ЦАР на приёме.

Если свести данные из таблицы 1 в формулы из п. 2.2 для оценки мощности шума, то получаем значение $P_{\text{ш}} = 1,53 \cdot 10^{-13}$ Вт.

После моделирования на основе приведенных выше формул, а также табличных данных, оценим значение вероятности битовой ошибки в зависимости от расстояния в свободном пространстве:

$$BER = \frac{n_{\text{ошибки}}}{n_{\text{бит}}}. \quad (14)$$

Таблица 1
Table 1Параметры моделирования
Parameters of simulation

Параметр	Значение
Выходная мощность тока, P_S	1 мВт
Несущая частота, f	300 МГц
Ширина канала, Δf	1 МГц
Тип модуляции	QPSK
Количество переданных бит, $n_{бит}$	10^6
Число отсчётов, K	100
Сопротивление излучения, R_Σ	75 Ом
Коэффициент направленного действия дипольной антенны, D	1,6
Радиус кольцевой антенной решетки ЦАР, R	0,5 м
Атмосферные помехи, $T_{АТМ}$	400 К
Промышленные помехи, $T_{ПРОМ}$	590 К
Космические помехи, $T_{КОСМ}$	86 К
Шумы Земли и атмосферы, $T_{ТЕПЛ}$	30 К
Коэффициент полезного действия фидера, η_ϕ	0,9
Коэффициент полезного действия антенны, η_a	0,986
Коэффициент шума приёмника ЦАР	10 дБ

Передатчик представляет собой источник фазово-модулированного сигнала, питающий полуволновой диполь. На приемной стороне моделируется кольцевая антенная решетка (3) или в другом случае полудодекаэдрическая антенная решетка (4), сигнал с которой подвергается последовательной обработке, как показано п. 2.5, для усиления полезного сигнала на фоне шума.

3.1. Эксперимент № 1

Рассмотрим случай, когда передается один полезный QPSK-сигнал. Координаты сигнала $\theta=0^\circ$ и $\phi=85^\circ$. Элементы ЦАР располагаются по окружности (выражение 3) и полудодекаэдру (выражение 3). Управление главным лепестком диаграммы направленности осуществляется согласно уравнениям (10-11) («ФАР» на рис. 5 и 8) и с помощью метода MUSIC совместно с алгоритмом, который максимизирует отношение сигнал / шум + шум по выражениям (12–13) («ЦАР» на рис. 5 и 8).

Рассмотрим модель распространения сигнала в пространстве с непрозрачными непроводящими препятствиями (рис. 1а). В данной модели передается один полезный QPSK-сигнал мощностью 1 мВт, при этом расстояние между передатчиком и приёмной ЦАР фиксировано и составляет 200 км. На рис. 5 приведены графики вероятности битовой ошибки (14) в зависимости от высоты препятствия с учётом того, что высота подвеса ЦАР 20 м, а источника сигнала – 2 м. Рефракция в данном моделировании не учитывалась, а также отсутствуют помехи, мощность шума получена из табл. 1.

Из рис. 5 видно, что лучшей формой ЦАР является полудодекаэдр, состоящий из направленных элементов, поскольку вероятность битовой ошибки значительно ниже, чем у кольцевой ЦАР. Разница между данными показателями – более чем в пять раз. Расхождение началось при высоте препятствия, начиная от 150 м, что соответствует величине параметра Френеля – Кирхгофа H_c менее трёх и ослаблению F_d более чем в пять раз в дополнении к затуханию, вызванному распространением радиоволны. Однако при использовании простых симметричных диполей все алгоритмы и формы антенн показывают схожую довольно низкую в сравнении с цифровым диаграммообразованием эффективность.

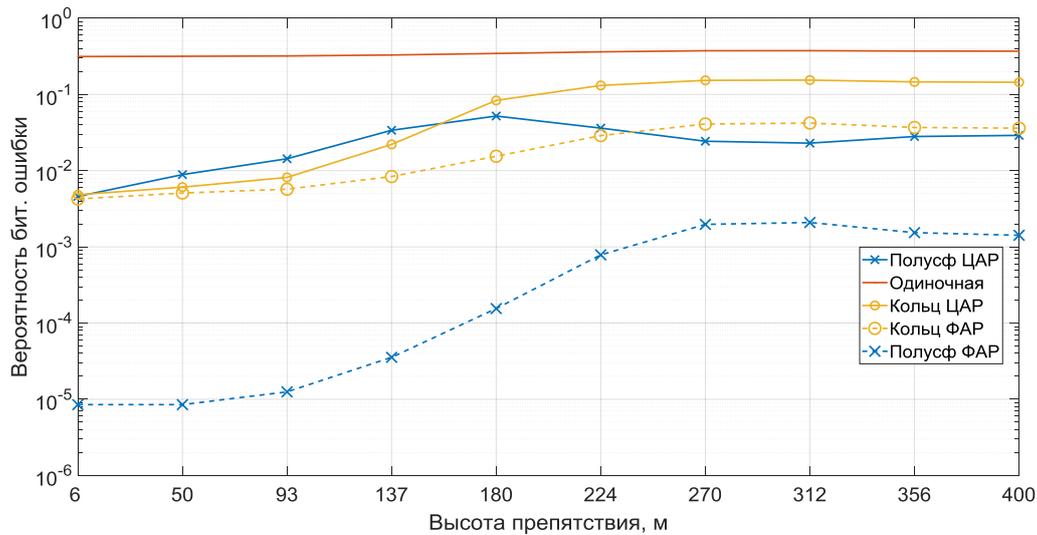


Рис. 5. Результаты расчётов с помощью модели распространения сигнала за счёт дифракции радиоволн с одиночным препятствием
 Fig. 5. The results of calculations using the signal propagation model due to the single obstacle diffraction of radio waves

3.2. Эксперимент № 2

Рассмотрим несколько препятствий, основываясь на географических данных реальной трассы распространения УКВ радиосигнала. Возьмем за основу расположение источника QPSK-сигнала центр города Елец (52°37' с. ш. 38°28' в. д.). Приёмную цифровую антенную решётку расположим в центре города Липецка (52°37' с. ш. 39°36' в. д.). Для того чтобы оценить дифракционные потери на данной трассе, необходимо знать рельеф по прямой линии между данными населенными пунктами. На рис. 6 приведена карта с источником и приёмником, красной линией обозначена связь между ними, а также рельеф местности вдоль неё.

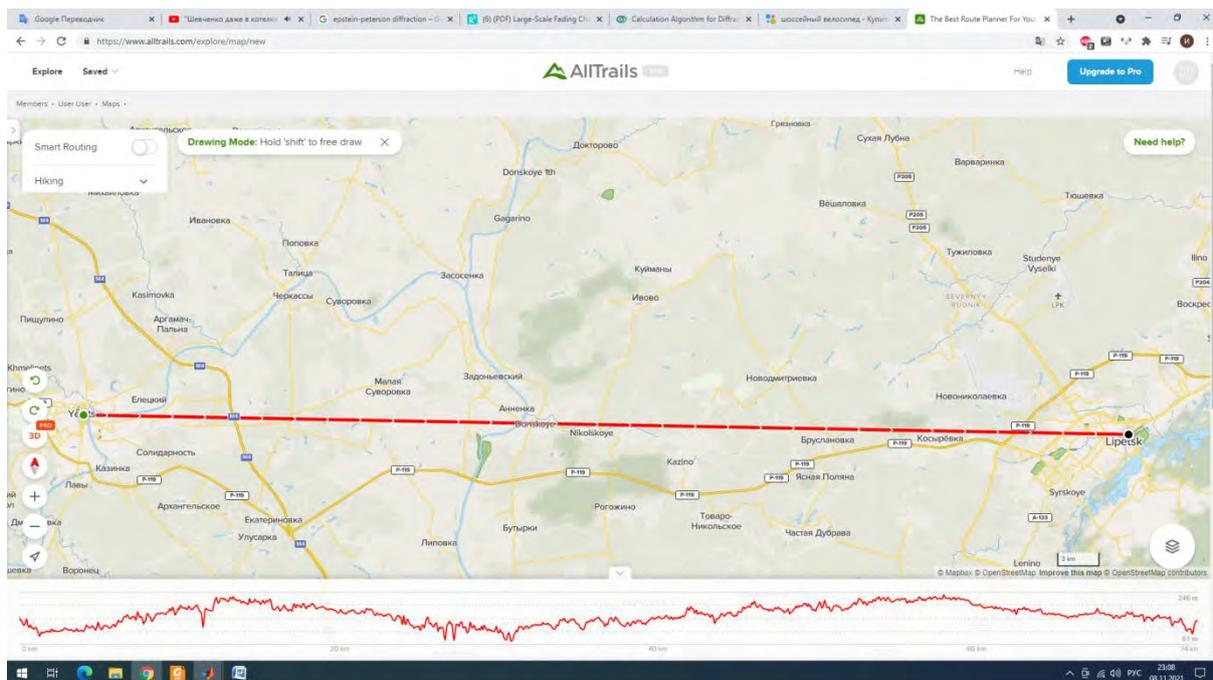


Рис. 6. Профиль рельефа на трассе распространения сигнала
 Fig. 6. Terrain profile on the signal propagation path

Схематическая диаграмма препятствий с 13 кромками, использованная для числового примера в исследовании, показана на рис. 7. Кроме того, на данном рисунке приведена высота профиля рельефа местности, а также расстояние от источника до соответствующей одиночной кромки препятствия. На данном рисунке не учитывается растительность, а также «выгибание» Земли. Видно, что данный рельеф носит довольно равномерный и плоский характер.

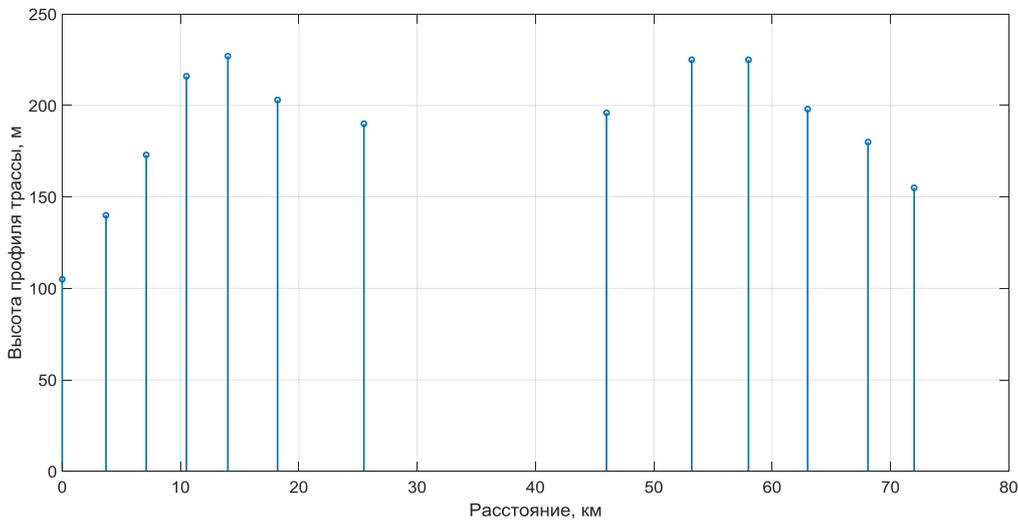


Рис. 7. Принципиальная схема препятствий с 13 острями, использованными в исследовании
Fig. 7. Schematic diagram of 13 knife-edge obstacles used in the study

Как уже было сказано выше, в данной статье представлен подход к определению дифракционных потерь на множестве одиночных препятствий на основе метода Эпштейна – Петерсона, представленного на рис. 3–4. Сначала представлены аналитические выражения для определения высоты препятствия с использованием геометрии профиля трассы Френеля. Учитывается «выгибание» Земли на основе эффективного радиуса и градиента рефракции, равного $4/3$. Далее в табл. 2 приведены сводные данные по вычисленным значениям дифракционных потерь F_d после каждой преграды из рис. 7, а также общее значение затухания без учета ослабления в зависимости от расстояния между передатчиком и приёмником из формулы 1. Кроме того, приведены параметр дифракции H_c и величины просвета h_c , вычисленные для тринадцати клиновидных препятствий для каждой преграды согласно выражениям (7–8) соответственно.

Как показано в табл. 2, общие дифракционные потери на изолированных преградах составляют 82,4 дБ. Далее в ходе моделирования дополнительно учитывалась процедура метода Эпштейна – Петерсона, изображённая на рис. 4, т. е. затем учитывается многолучевое распространение, если кромка того или иного препятствия не перекрывает прямой ход луча.

Рассмотрим модель распространения метода Эпштейна – Петерсона с дифракцией от одиночных препятствий рельефа земли (рис. 1). В данной модели также передается один полезный QPSK-сигнал. Координаты, как и данные из табл. 1 остаются прежними. Высота передатчика и приёмной ЦАР составляет 2 м и 20 м над поверхностью земли, т. е. к данным h_0 и h_{12} из табл. необходимо прибавить данные значения. Вероятность битовых ошибок также оценивается в зависимости от мощности передатчика в пределах от 1 мВт до 150 Вт.

Как видно из графиков на рис. 8, «опорная» вероятность битовой ошибки, равная 10^{-6} , достигается при использовании полусферической антенной решетки с использованием пространственной цифровой обработкой сигналов (выражения 12, 13) при данных условиях распространения, если мощность передатчика достигает 140 Вт. В то же самое время кольцевая геометрия ЦАР имеет вероятность битовой ошибки только 10^{-4} , т. е. разница в сто раз. Если посмотреть с другой стороны, использование полудодекаэдрической ЦАР позволяет уве-

личить дальность и надёжность связи. Также из рис. 8 видно, что фазированное формирование диаграммы направленности (выражения 10, 11) по сравнению с цифровым диаграммообразованием при нескольких препятствиях не даёт никаких преимуществ и показывает более значительные значения битовой ошибки.

Таблица 2
Table 2

Вычисленные величины профиля трассы и дифракции
 Calculated values of terrain link and diffraction

Расстояние между препятствиями, км		Эффективная высота острия препятствия, h , м		Величина про-света прямой видимости, h_c (м)		Параметр дифракции, H_c		Дифракционные потери, F_d (дБ)
d_0	0	h_0	105	h_{c0}	0	H_{c0}		
d_1	3,7	h_1	140	h_{c1}	0.3038	H_{c1}	0.0102	6,53
d_2	3,4	h_2	173	h_{c2}	-4.3196	H_{c2}	-0.1482	5,17
d_3	3,4	h_3	216	h_{c3}	17.0917	H_{c3}	0.5822	11,17
d_4	3,5	h_4	227	h_{c4}	17.7743	H_{c4}	0.5755	11,3
d_5	4,2	h_5	203	h_{c5}	-8.6823	H_{c5}	-0.2379	4,3
d_6	7,3	h_6	190	h_{c6}	-2.3534	H_{c6}	-0.0454	6,05
d_7	20,5	h_7	196	h_{c7}	-11.2147	H_{c7}	-0.2173	4,48
d_8	7,2	h_8	225	h_{c8}	13.6342	H_{c8}	0.3594	9,44
d_9	4,8	h_9	225	h_{c9}	14.6371	H_{c9}	0.4184	9,96
d_{10}	5	h_{10}	198	h_{c10}	-3.2218	H_{c10}	-0.0907	5,65
d_{11}	5,1	h_{11}	180	h_{c11}	7.5374	H_{c11}	0.2268	8,33
d_{12}	3,9	h_{12}	155	h_{c12}	0	H_{c12}		
d	73	$f=300$ МГц	$\lambda = 1$ м				Общие дифракционные потери, F_d (дБ)	82,4016

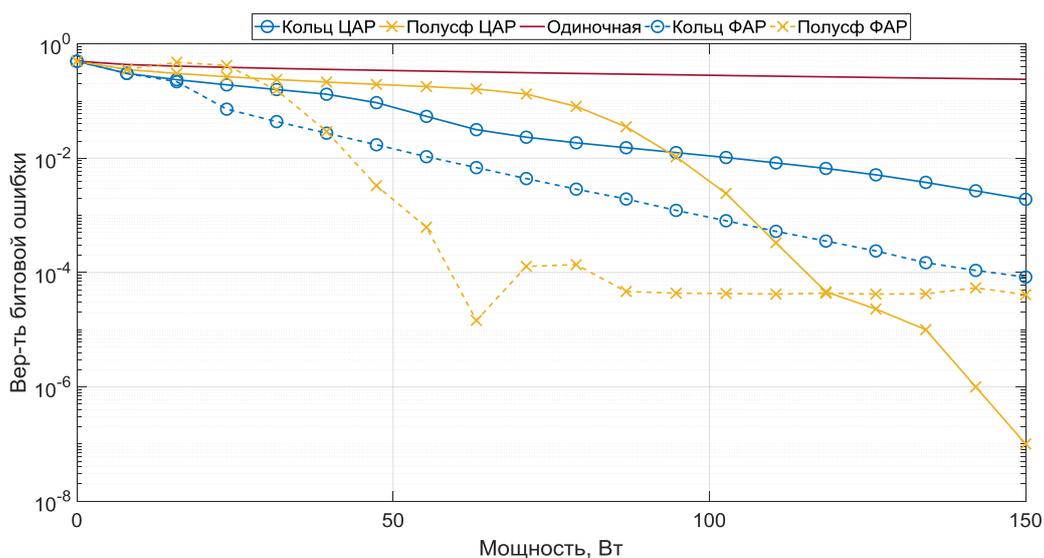


Рис. 8. Результаты расчётов с помощью модели распространения сигнала за счёт дифракции радиоволн с трассы «Елец – Липецк»

Fig. 8. The results of calculations using the signal propagation model due to the diffraction of radio waves from the Yelets – Lipetsk link

Заключение

В статье исследуется проблема использования цифровых антенных решеток, элементами которых являются направленные элементы Яги – Уда при распространении радиоволн над поверхностью Земли. В частности, проводится исследование для каналов связи УКВ-диапазона на несущей частоте 300 МГц с фазовой манипуляцией при воздействии шума, а также возникновении дифракции вследствие множественных непрозрачных препятствий, поскольку известно, что дифракция формируется только поверхностью земли или другими препятствиями. Следовательно, в работе осуществлена оценка геометрических параметров, относящихся к вертикальной плоскости трассы (угол дифракции, радиус кривизны, высота препятствия), с учетом соответствующего эквивалентного радиуса Земли, от одиночных изолированных препятствий рельефа земли, которые оцениваются с помощью методики Эпштейна – Петерсона. В этом случае может возникать явление многолучевости прямого луча распространения радиоволны и дифрагированного. Установлено, что на реальной трассе 72 км УКВ волны частотой 300 МГц дополнительные дифракционные потери составляют более 82 дБ.

В блоке цифровой обработки исследовались методы фазового сканирования пространства, а также алгоритмы оптимального подавления шума и помех, координаты которого предварительно оценивались методом MUSIC. Кроме того, показано, что для установления связи на данном канале связи необходимо иметь мощность передатчика около 140 Вт с применением цифровой пространственной обработкой сигналов с выходов полусферической антенной решетки, чтобы достичь вероятности битовой ошибки 10^{-6} . Для получения такого целевого показателя ошибочных в случае применения кольцевых АР необходимо увеличить мощность на передающей стороне свыше 200 Вт. Таким образом, надежность и дальность связи может быть достигнута с применением полусферы в качестве геометрии АР с последующим цифровым диаграммообразованием.

Стоит отметить, что фазированное сканирование оправдано на более простых трассах. Так, в случае, если имеется только одно изолированное препятствие на пути распространения радиоволны, на котором происходит дифракция, то вероятность битовой ошибки ЦАР и ФАР сравнима друг с другом. Однако ФАР с применением полусферы в качестве геометрии также снижает вероятность ошибки до 10^{-5} при высоте препятствия 90 м, при этом 10^{-2} для кольцевой ФАР.

Таким образом, можно подытожить, что ЦАР совместно с полусферным расположением направленных элементов на сложных трассах позволяет значительно повысить надёжность и дальность УКВ-связи.

Список литературы

- Боков Л.А., Замотринский В.А., Мандель А.Е. 2013. Электродинамика и распространение радиоволн. Томск, Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 410.
- Боровский А.В., Галкин А.Л. 2014. Численное моделирование дифракции на клине с произвольным углом. Известия Байкальского государственного университета, 1(93): 100–109.
- Затучный Д.А., Сладь Ж.В. 2015. О влиянии на распространение радиоволн в городе профиля его застройки. Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации, 222(12): 37–43.
- Кубанов В.П. 2013. Влияние окружающей среды на распространение радиоволн. Самара, ПГУТИ, 92.
- Михайлов М.С., Пермяков В.А., Сазонов Д.М. 2014. Расчет энергетических характеристик активной фазированной антенной решетки над нерегулярной земной поверхностью методом параболического уравнения (трехмерная модель). Журнал Радиоэлектроники, 12.
- Муад Халед Мохамад. 2016. Радиосистемы и устройства связи с малыми искажениями для загородных и горных трасс: диссертация кандидата технических наук: 05.12.04. Москва.
- Пониматкин В.Е., Шпиловой А.А. 2010. Антенно-фидерные устройства систем связи. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 121.
- Попов В. 2015. Математические модели распространения радиоволн в лесных массивах. Евразийский Союз Ученых, 11-3(20): 107–117.



- Попов В.И., Скуднов В.А., Васильев А.С. 2016. Математические модели и алгоритмы распространения радиоволн в сотовых сетях мобильной связи. Евразийский Союз Ученых, 3-3(24): 68–80.
- Balanis C.A. 2005. *Antenna Theory: Analysis and Design*. New York, NY, USA, Wiley-Interscience, 1104.
- Bibb D.A., Dang J., Yun Z., and Iskander M.F. 2014. Computational accuracy and speed of some knife-edge diffraction models. In: *Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*. Memphis, USA: 705-706.
- Bullington K. 1947. Radio propagation at frequencies above 30 megacycles. *Proceedings of the IRE*, 35(10): 1122–1136.
- Changwon Lee, Sungkwon Park. 2018. Diffraction Loss Prediction of Multiple Edges Using Bullington Method with Neural Network in Mountainous Areas. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2018 (8737594): 1–10.
- Collin R.E. 1985. *Antennas and Radiowave Propagation*, McGraw-Hill, New York, 263.
- Deygout J. 1966. Multiple knife-edge diffraction of microwaves. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 14 (4): 480–489.
- Elshafie, Hashim & Fisal, Norsheila & Baguda, Yakubu & Sayuti, H. & Abdulrahman, Yasir & Mohamad, Hafizal & Ramli, Nordin & Abbas, Mazlan. 2013. Measurement of UHF Signal Propagation Loss under Different Altitude in Hilly Environment. *Applied Mechanics and Materials*, 311: 37–42.
- Epstein J., Peterson D.W. 1953. An experimental study of wave propagation at 850 MC. *Proceedings of the IRE*, 41 (5): 595–611.
- Gross F. 2015. *Smart Antennas with MATLAB, Second Edition: Principles and Applications in Wireless Communication*. McGraw Hill Professional, 400.
- Gupta M.S. 2018. Physical Channel Models for Emerging Wireless Communication Systems. In: *XXIIIrd International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*. Tbilisi, Georgia: 255–260.
- Jordan, E., and K. Balmain. 1968. *Electromagnetic Waves and Radiating Systems*, 2d ed., Prentice Hall, New York, 774.
- Nechaev Yu.B., Peshkov I.W., Fortunova N.A., Zaitseva I.N. and Zhigulin V.A. 2021. Research and Modeling of Digital Antenna Arrays with Directional Elements on Azimuth-Elevation in VHF Terrain and Vegetation Multipath Propagation Situations. In: *Journal of physics: conference series*.
- Nechaev Yu.B., Peshkov I.W., Fortunova N.A., Zaitseva I.N. 2021. Study of Digital Azimuth-Elevation Beamforming With Directional Antennas in VHF Two-Ray Reflection Propagation Model. In: *2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications*.
- Nechaev Yu.B., Peshkov I.W. 2020. An approach of DOA-Estimation Accuracy Improving via Conformal Antenna Arrays with Directional Emitters. In: *2020 Systems Of Signals Generating And Processing In The Field Of On Board Communications*. Moscow Technical University of Communication and Informatics (MTUCI). Moscow, Russia: 1–5.
- Nechaev Yu.B., Peshkov I.W., Fortunova N.A., Zaitseva I.N. 2018. The Estimation of Radio Direction-Finding Performance in volume Antenna Arrays with Directive Radiators by Music Method. In: *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications*, IEEE Inc. Minsk, Belarus: 1–6.
- Nechaev Yu.B., Peshkov I.W., Fortunova N.A., Zaitseva I.N. 2020. The Research of the Digital Beamforming Algorithm for Optimal Noise Reduction in a Cylindrical Antenna Array with Directive Radiators. In: *2020 SYNCHROINFO*. Svetlogorsk, Russia: 1–5.
- Recommendation ITU-R 372. Radio noise. URL: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.372/en>. (дата обращения: 10.12.2021)
- Recommendation ITU-R 526. Propagation by diffraction. URL: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.526/en>. 2019. (дата обращения: 10.12.2021)
- Recommendation ITU-R. Terrestrial land mobile radiowave propagation in the VHF/UHF bands. URL: <http://www.itu.int/pub/R-HDB-44>. 2002. (дата обращения: 10.12.2021)
- Ruidong W., Dongdong Z., Guizhen Lu, Rongshu Z. 2015. Radiowave propagation loss measurement of different situated Knife-Edge problems and comparison with PO computing. In: *Microwave Antenna Propagation and EMC Technologies (MAPE) IEEE 6th International Symposium on*. Shanghai, China: 40–43.
- Tikhomirov A., Omelyanchuk E., Semenova A. and Mikhailov V. 2017. Experimental study of UHF radio wave propagation in rough terrain. In: *2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus)*. St. Petersburg and Moscow: 1293–1298.



- Yan, Su, Wu, Yumao, Zhao, Huapeng, Guo, Han, 2017. Advanced Modeling and Simulation Methods for Multiphysics and Multiscale Problems. *International Journal of Antennas and Propagation*, Hindawi, 3051476: 1687–5869.
- Yun Zh., Magdy F.I. 2015. Ray Tracing for Radio Propagation Modeling: Principles and Applications. *IEEE Access*, 3: 1089–1100.

References

- Bokov L.A., Zamotrinskij V.A., Mandel' A.E. 2013. Jelektrodinamika i rasprostranenie radiovoln [Electrodynamics and Radio Wave Propagation]. Tomsk, Tomsk. gos. un-t sistem upr. i radioelektroniki, 410.
- Borovsky A.V., Galkin A.L. 2014. Numerical modeling of diffraction by a wedge with an arbitrary angle. *Bulletin of Baikal state university*, 1(93): 100–109. (in Russian)
- Zatuchny D.A., Slad J.V. 2015. Research of influence on distribution of radio waves in city of profile of his building. *Civil Aviation High Technologies*, 222(12): 37–43. (in Russian)
- Kubanov V. P. 2013. Vlijanie okružhajushhej sredy na rasprostranenie radiovoln [The influence of the environment on the propagation of radio waves]. Samara, PGUTI, 92.
- Mihajlov M.S., Permjakov V.A., Sazonov D.M. 2014. Raschet jenergetičeskikh harakteristik aktivnoj fazirovannoj antennoj reshetki nad nereguljarnoj zemnoj poverhnost'ju metodom parabolicheskogo uravnenija (trehmernaja model') [Calculation of the energy characteristics of an active phased antenna array over an irregular earth surface by the parabolic equation method (3D model)]. *Zhurnal Radioelektroniki [Journal of Radioelectronics]*, 12.
- Muad Haled Mohamad. 2016. Radiosistemy i ustrojstva svjazi s malymi iskazhenijami dlja zagorodnyh i gornyh trass: dissertacija kandidata tehničeskikh nauk: 05.12.04 [Radio systems and communication devices with low distortion for suburban and mountain routes: thesis of a candidate of technical sciences: 05.12.04]. Moskva.
- Ponimatkin V.E., Shpilevoj A.A. 2010. Antenna-fidernye ustrojstva sistem svjazi: [Antenna-feeder devices of communication systems]. Kaliningrad: Izd-vo RGU im. I. Kanta, 121.
- Popov V. 2015. Matematicheskie modeli rasprostranenija radiovoln v lesnyh massivah [Mathematical models of radio wave propagation in forests]. *Evrazijskij Sojuz Učenyh [Eurasian Scientists Union]*, 11-3(20): 107–117.
- Popov V.I., Skudnov V.A., Vasiljev A.S. 2016. Mathematical models and algorithms of radio wave propagation in cellular mobile communication networks. *Eurasian Scientists Union*, 3-3(24): 68–80. (in Russian)
- Balanis C.A. 2005. *Antenna Theory: Analysis and Design*. New York, NY, USA, Wiley-Interscience, 1104.
- Bibb D.A., Dang J., Yun Z., and Iskander M.F. 2014. Computational accuracy and speed of some knife-edge diffraction models. In: *Proceedings of the IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*. Memphis, USA: 705–706.
- Bullington K. 1947. Radio propagation at frequencies above 30 megacycles. *Proceedings of the IRE*, 35(10): 1122–1136.
- Changwon Lee, Sungkwon Park. 2018. Diffraction Loss Prediction of Multiple Edges Using Bullington Method with Neural Network in Mountainous Areas. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2018 (8737594): 1–10.
- Collin R.E. 1985. *Antennas and Radiowave Propagation*, McGraw-Hill, New York, 263.
- Deygout J. 1966. Multiple knife-edge diffraction of microwaves. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 14 (4): 480–489.
- Elshafie, Hashim & Fisal, Norsheila & Baguda, Yakubu & Sayuti, H. & Abdulrahman, Yasir & Mohamad, Hafizal & Ramli, Nordin & Abbas, Mazlan. 2013. Measurement of UHF Signal Propagation Loss under Different Altitude in Hilly Environment. *Applied Mechanics and Materials*, 311: 37–42.
- Epstein J., Peterson D.W. 1953. An experimental study of wave propagation at 850 MC. *Proceedings of the IRE*, 41 (5): 595–611.
- Gross F. 2015. *Smart Antennas with MATLAB, Second Edition: Principles and Applications in Wireless Communication*. McGraw Hill Professional, 400.
- Gupta M. S. 2018. Physical Channel Models for Emerging Wireless Communication Systems. In: *XXIIIrd International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*. Tbilisi, Georgia: 255–260.



- Jordan E., and K. Balmain, 1968. *Electromagnetic Waves and Radiating Systems*, 2d ed., Prentice Hall, New York, 774.
- Nechaev Yu.B., Peshkov I.W., Fortunova N.A., Zaitseva I.N. and Zhigulin V.A. 2021. Research and Modeling of Digital Antenna Arrays with Directional Elements on Azimuth-Elevation in VHF Terrain and Vegetation Multipath Propagation Situations. In: *Journal of physics: conference series*.
- Nechaev Yu.B., Peshkov I.W., Fortunova N.A., Zaitseva I.N. 2021. Study of Digital Azimuth-Elevation Beamforming with Directional Antennas in VHF Two-Ray Reflection Propagation Model. In: *2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications*.
- Nechaev Yu.B., Peshkov I.W. 2020. An approach of DOA-Estimation Accuracy Improving via Conformal Antenna Arrays with Directional Emitters. In: *2020 Systems of Signals Generating And Processing In The Field Of On Board Communications*. Moscow Technical University of Communication and Informatics (MTUCI). Moscow, Russia: 1–5.
- Nechaev Yu.B., Peshkov I.W., Fortunova N.A., Zaitseva I.N. 2018. The Estimation of Radio Direction-Finding Performance in volume Antenna Arrays with Directive Radiators by Music Method. In: *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications*, IEEE Inc. Minsk, Belarus: 1–6.
- Nechaev Yu.B., Peshkov I.W., Fortunova N.A., Zaitseva I.N. 2020. The Research of the Digital Beamforming Algorithm for Optimal Noise Reduction in a Cylindrical Antenna Array with Directive Radiators. In: *2020 SYNCHROINFO*. Svetlogorsk, Russia: 1-5.
- Recommendation ITU-R 372. Radio noise. URL: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.372/en>. (accessed: 10.12.2021)
- Recommendation ITU-R 526. Propagation by diffraction. URL: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.526/en>. 2019. (accessed: 10.12.2021)
- Recommendation ITU-R. Terrestrial land mobile radiowave propagation in the VHF/UHF bands. URL: <http://www.itu.int/pub/R-HDB-44>. 2002. (accessed: 10.12.2021)
- Ruidong W., Dongdong Z., Guizhen Lu, Rongshu Z. 2015. Radiowave propagation loss measurement of different situated Knife-Edge problems and comparison with PO computing. In: *Microwave Antenna Propagation and EMC Technologies (MAPE) IEEE 6th International Symposium on*. Shanghai, China: 40–43.
- Tikhomirov A., Omelyanchuk E., Semenova A. and Mikhailov V. 2017. Experimental study of UHF radio wave propagation in rough terrain. In: *2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus)*. St. Petersburg and Moscow: 1293–1298.
- Yan, Su, Wu, Yumao, Zhao, Huapeng, Guo, Han, 2017. Advanced Modeling and Simulation Methods for Multiphysics and Multiscale Problems. *International Journal of Antennas and Propagation*, Hindawi, 3051476: 1687–5869.
- Yun Zh., Magdy F.I. 2015. *Ray Tracing for Radio Propagation Modeling: Principles and Applications*. IEEE Access, 3: 1089–1100.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Нечаев Юрий Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики, радиотехники и электроники, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, г. Елец, Липецкая область, Россия

Yuri B. Nechaev, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of the Physics, Radioengineering and Electronics, Bunin Yelets State University, Yelets, Lipetsk Region, Russia

Пешков Илья Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики, радиотехники и электроники, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, г. Елец, Липецкая область, Россия

Ilya W. Peshkov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Physics, Radioengineering and Electronics, Bunin Yelets State University, Yelets, Lipetsk Region, Russia



УДК 519.862.6
DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-121-133

Программный комплекс построения квазилинейных регрессий по критериям точности и нелинейности

Караулова А.В., Базилевский М.П.

Иркутский государственный университет путей сообщения,
Россия, 664074, Иркутская обл., г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15
E-mail: anuta_kav@mail.ru, mik2178@yandex.ru

Аннотация. Работа посвящена проблеме выбора структурных спецификаций квазилинейных регрессионных моделей. Такие регрессии довольно просто оцениваются, но наличие в них нелинейных преобразований переменных затрудняет интерпретацию их оценок. Ранее авторами была сформулирована двухкритериальная задача выбора спецификации квазилинейной регрессии, состоящая в максимизации коэффициента детерминации и одновременной минимизации общего критерия нелинейности. Для большого числа переменных такая формулировка превращается в сложную вычислительную задачу. В настоящей работе впервые описан разработанный нами программный комплекс КВАРТОН-1, полностью автоматизирующий решение двухкритериальной задачи. В нем предусмотрена работа в двух режимах. В первом из них формируется множество Парето, с помощью которого пользователь может визуально проследить последовательную трансформацию линейной регрессии в нелинейную модель и выбирать наиболее приемлемую альтернативу. Во втором режиме сначала автоматически исключаются все значительно нелинейные регрессии, а из оставшихся выбирается лучшая по критерию детерминации. В обоих режимах предусмотрена возможность исключения моделей с незначимыми по t-критерию Стьюдента коэффициентами. С помощью КВАРТОН-1 была успешно решена задача моделирования грузовых железнодорожных перевозок в Иркутской области.

Ключевые слова: регрессионная модель, квазилинейная регрессия, коэффициент детерминации, критерий нелинейности, t-критерий Стьюдента, интерпретация, грузовые железнодорожные перевозки

Для цитирования: Караулова А.В., Базилевский М.П. 2022. Программный комплекс построения квазилинейных регрессий по критериям точности и нелинейности. Экономика. Информатика, 49(1): 121–133. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-121-133

Software complex for constructing quasi-linear regressions according to the criteria of accuracy and non-linearity

Anna V. Karaulova, Mikhail P. Bazilevskiy

Irkutsk State Transport University
15 Chernyshevskogo St, Irkutsk, 664074, Russia
E-mail: anuta_kav@mail.ru, mik2178@yandex.ru

Abstract. This article is devoted to the problem of choosing structural specifications for quasi-linear regression models. Such regressions are fairly easy to estimate, but the presence of non-linear transformations of variables in them makes it difficult to interpret their estimates. Previously, the authors formulated a two-criterion problem of choosing the specification for quasi-linear regression, which consists in maximizing the coefficient of determination and simultaneously minimizing the general criterion of nonlinearity. For a large number of variables, such a formulation turns into a complex computational problem. In this paper, we describe for the first time a software complex developed by us that fully automates the solution of a two-criteria problem. It provides work in two modes. In the first of them, a Pareto set is formed, with the help of which the user can visually trace the sequential transformation of a linear



regression into a nonlinear model and choose the most acceptable alternative. In the second mode, all significantly non-linear regressions are first automatically excluded, and the best one according to the determination criterion is selected from the remaining ones. In both modes, it is possible to exclude models with coefficients that are insignificant according to Student's t-test. With the help of the software complex, the problem of modeling freight rail transportation in the Irkutsk region was successfully solved.

Keywords: regression model, quasi-linear regression, coefficient of determination, criterion of non-linearity, Student's t-test, interpretation, freight rail transportation

For citation: Karaulova A.V., Bazilevskiy M.P. 2022. Software complex for constructing quasi-linear regressions according to the criteria of accuracy and non-linearity. Economics. Information technologies, 49(1): 121–133 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-121-133

Введение

При проведении регрессионного анализа [Brook, Arnold, 2018; Lawrence, 2019; Montgomery et al., 2021] исследователи, как правило, отдают предпочтение построению линейных моделей, которые легко оцениваются, а их оценки отчетливо интерпретируются. Однако реальные социально-экономические процессы редко носят абсолютно линейный характер, поэтому для их адекватного описания приходится прибегать к построению нелинейных зависимостей [Mize, 2019; Borowiak, 2020]. Различают два класса нелинейных регрессий. К первому классу относят нелинейные по параметрам модели, для оценивания которых приходится прибегать к реализации специальных численных методов. Ко второму классу относят квазилинейные модели (нелинейные по переменным, но линейные по параметрам), которые тем или иным способом могут быть линеаризованы.

Очевидно, что структурных спецификаций квазилинейных регрессий существует бесчисленное множество. Проблема в том, как для имеющихся в наличии статистических данных выбрать из всего этого многообразия наиболее адекватный вариант зависимости. В некоторых случаях вид спецификации устанавливается исходя из экономического смысла рассматриваемых переменных. Иногда применяется графический метод, когда по точечным диаграммам выбираются подходящие преобразования переменных. Самым качественным, но трудоемким методом решения проблемы спецификации является перебор всех возможных регрессий и выбор лучшей из них на основе некоторого критерия качества. В [Носков, 1996; Носков, 2021б] для выбора спецификации предложена технология организации «конкурса» моделей. В [Базилевский, Носков, 2012] приводится описание программного комплекса автоматизации процесса построения регрессионных моделей (ПК АППРМ), предназначенного для проведения «конкурса» моделей. С помощью ПК АППРМ решено множество прикладных задач анализа данных (см., например, [Носков, Врублевский, 2016; Баенхаева и др., 2016]). Полученные в результате организации «конкурса» квазилинейные регрессии зачастую обладают высоким аппроксимационным качеством, поэтому могут быть использованы для получения прогнозных значений зависимой переменной. Но при этом такие модели получаются значительно нелинейными, поэтому возникают трудности с интерпретацией их оценок.

В рамках регрессионного анализа разработан целый арсенал различных критериев адекватности [Cavanaugh, Neath, 2019; Chicco et al., 2021; Носков, 2021а]. Для количественной оценки степени нелинейности квазилинейных регрессий в [Базилевский, 2018] были предложены специальные критерии. В [Базилевский, Караулова, 2021] на основе этих критериев была сформулирована двухкритериальная задача, состоящая в максимизации коэффициента детерминации и одновременной минимизации критерия нелинейности. Целью настоящей работы является описание разработанного нами для решения сформулированной двухкритериальной задачи программного комплекса и демонстрация его работы на примере решения конкретной прикладной задачи анализа данных.

Двухкритериальная задача

Квазилинейная регрессионная модель имеет вид:

$$y_i = \alpha_0 + \sum_{k=1}^q \sum_{j=1}^m \alpha_{kj} f_k(x_{ij}) + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где n – объем выборки; m – число объясняющих переменных; q – число элементарных функций; $y_i, i = \overline{1, n}$ – значения объясняемой переменной; $x_{ij} > 0, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ – значения объясняющих переменных; $f_k(x), k = \overline{1, q}$ – элементарные функции; $\alpha_0, \alpha_{kj}, k = \overline{1, q}, j = \overline{1, m}$ – неизвестные параметры; $\varepsilon_i, i = \overline{1, n}$ – ошибки аппроксимации.

Будем считать, что входящие в модель (1) элементарные функции являются непрерывными и монотонными на отрезках $[x_{\min}^j, x_{\max}^j], j = \overline{1, m}$, где $x_{\min}^j = \min\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\}$, $x_{\max}^j = \max\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\}, j = \overline{1, m}$.

Пусть в модель (1) каждая преобразованная объясняющая переменная входит ровно 1 раз, тогда её можно представить в виде:

$$y_i = \alpha_0 + \sum_{j=1}^m \alpha_j f_{\omega_j}(x_{ij}) + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $\omega_j \in [1, q], j = \overline{1, m}$ – элементы индексного вектора Ω , каждый из которых показывает номер элементарной функции для преобразования j -й объясняющей переменной.

Известно, что если регрессионная модель (2) оценивается с помощью метода наименьших квадратов (МНК), то об её адекватности можно судить по значению коэффициента детерминации, который находится по формуле:

$$R^2 = 1 - \frac{\text{RSS}}{\text{TSS}},$$

где RSS – сумма квадратов остатков регрессии; TSS – общая сумма квадратов.

Коэффициент детерминации R^2 принимает значения от 0 до 1. Чем ближе его значение к 1, тем сильнее зависимость.

Для оценки степени нелинейности преобразованных переменных в квазилинейных регрессиях (2) в [Базилевский, 2018] разработаны критерии нелинейности «по площади» $NC_S^j, j = \overline{1, m}$, которые находятся по формулам:

$$NC_S^j = \left| \frac{f_{\omega_j}(x_{\max}^j) + f_{\omega_j}(x_{\min}^j)}{f_{\omega_j}(x_{\max}^j) - f_{\omega_j}(x_{\min}^j)} - \frac{2 \int_{x_{\min}^j}^{x_{\max}^j} f_{\omega_j}(x_j) dx_j}{(x_{\max}^j - x_{\min}^j)(f_{\omega_j}(x_{\max}^j) - f_{\omega_j}(x_{\min}^j))} \right|, \quad j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Область значений каждого из критериев (3) $NC_S^j \in [0, 1]$. Если $NC_S^j = 0$, то преобразование j -й объясняющей переменной является линейным, а если $NC_S^j \rightarrow 1$, то оно в значительной степени нелинейно. Если значение NC_S^j близко к нулю, то вместо оцененного коэффициента $\tilde{\alpha}_j$ модели (2) можно интерпретировать коэффициент

$$k_j = \tilde{\alpha}_j \frac{f_{\omega_j}(x_{\max}^j) - f_{\omega_j}(x_{\min}^j)}{x_{\max}^j - x_{\min}^j}. \quad (4)$$

Для оценки степени нелинейности квазилинейной регрессии (2) в целом применяется критерий верхней границы нелинейности:

$$L = \max\{NC_S^1, NC_S^2, \dots, NC_S^m\}.$$



Этот критерий обладает теми же свойствами, что и его компоненты.

В работе [Базилевский, Караулова, 2021] сформулирована двухкритериальная задача: требуется выбрать такие компоненты вектора Ω в регрессионной модели (2), которые обеспечивали бы как ее высокое аппроксимационное качество, так и низкую степень нелинейности, т. е.

$$R^2 \rightarrow \max, L \rightarrow \min. \quad (5)$$

В [Базилевский, Караулова, 2021] предложено 2 следующих способа решения задачи (5).

1. Сначала оценить все возможные спецификации модели (2). Затем сформировать множество Парето, по которому путем визуального просмотра значений критериев выбрать приемлемую альтернативу.

2. Сначала исключить все преобразованные переменные, для которых $NC_S^j > \delta$, где δ – некоторое число из промежутка $[0, 1; 0, 3]$. Затем из оставшихся переменных сформировать и оценить все возможные спецификации модели (2) и выбрать лучшую по величине R^2 .

Первый способ требует оценки всех q^m регрессионных моделей, а второй – $\prod_{j=1}^m q_j$, где q_j – количество преобразований j -й объясняющей переменной, для которых $NC_S^j \leq \delta$.

Программный комплекс

Для решения двухкритериальной задачи (5) на языке программирования Python был разработан программный комплекс построения квазилинейных регрессий по критериям точности и нелинейности «по площади» (ПК КВАРТОН-1). Поскольку решение задачи (5) может быть найдено двумя способами, то в ПК КВАРТОН-1 реализовано два соответствующих режима работы. При этом в обоих режимах предусмотрена возможность исключения моделей с незначимыми по t-критерию Стьюдента коэффициентами. В результате работы программного комплекса в зависимости от выбранного режима автоматически формируется отчет в Microsoft Word, содержащий полную информацию о построенных моделях и их характеристиках. ПК КВАРТОН-1 является универсальным программным продуктом, позволяющим решать задачи анализа данных из самых разных предметных областей.

Блок-схема алгоритма работы ПК КВАРТОН-1 представлена на рисунке 1. Кратко охарактеризуем каждый из этапов.

Сначала пользователь должен задать следующие параметры.

1. Имя файла со статистическими данными. Этот файл должен иметь расширение *.txt и располагаться в папке с программой. К содержимому файла предъявляются следующие требования: в первой строке содержатся имена переменных, отделенные друг от друга символом «табуляция»; первой в списке переменных указана зависимая переменная; в последующих строках значения переменных также отделяются друг от друга символом «табуляция»; разделителем целых и дробных частей вещественных чисел является точка.

2. Вектор преобразований независимых переменных transf. На данный момент в ПК КВАРТОН-1 реализовано 10 таких преобразований: x , x^2 , x^3 , $x^{-0.5}$, x^{-1} , x^{-2} , x^{-3} , \sqrt{x} , $\ln x$, 2^{ax} , где a – заданное число. Каждое из них зашифровано числами от 0 до 9. Например, если $\text{transf} = [0,4]$, то в качестве преобразований выступают x и x^{-1} .

3. Значение переменной Rezh, отвечающей за режим работы программы. Если $\text{Rezh} = 1$, то система работает в режиме № 1, согласно которому осуществляется формирование множества всех возможных вариантов моделей, их оценивание с помощью МНК и формирование множества Парето на основе критериев R^2 и L . Если $\text{Rezh} = 2$, то система работает в режиме № 2, в котором на первом этапе отсекаются все сильно нелинейные преобразованные переменные, а уже потом из оставшихся формируется и оценивается множество возможных вариантов моделей, из которого выбирается единственная лучшая по критерию R^2 регрессия.

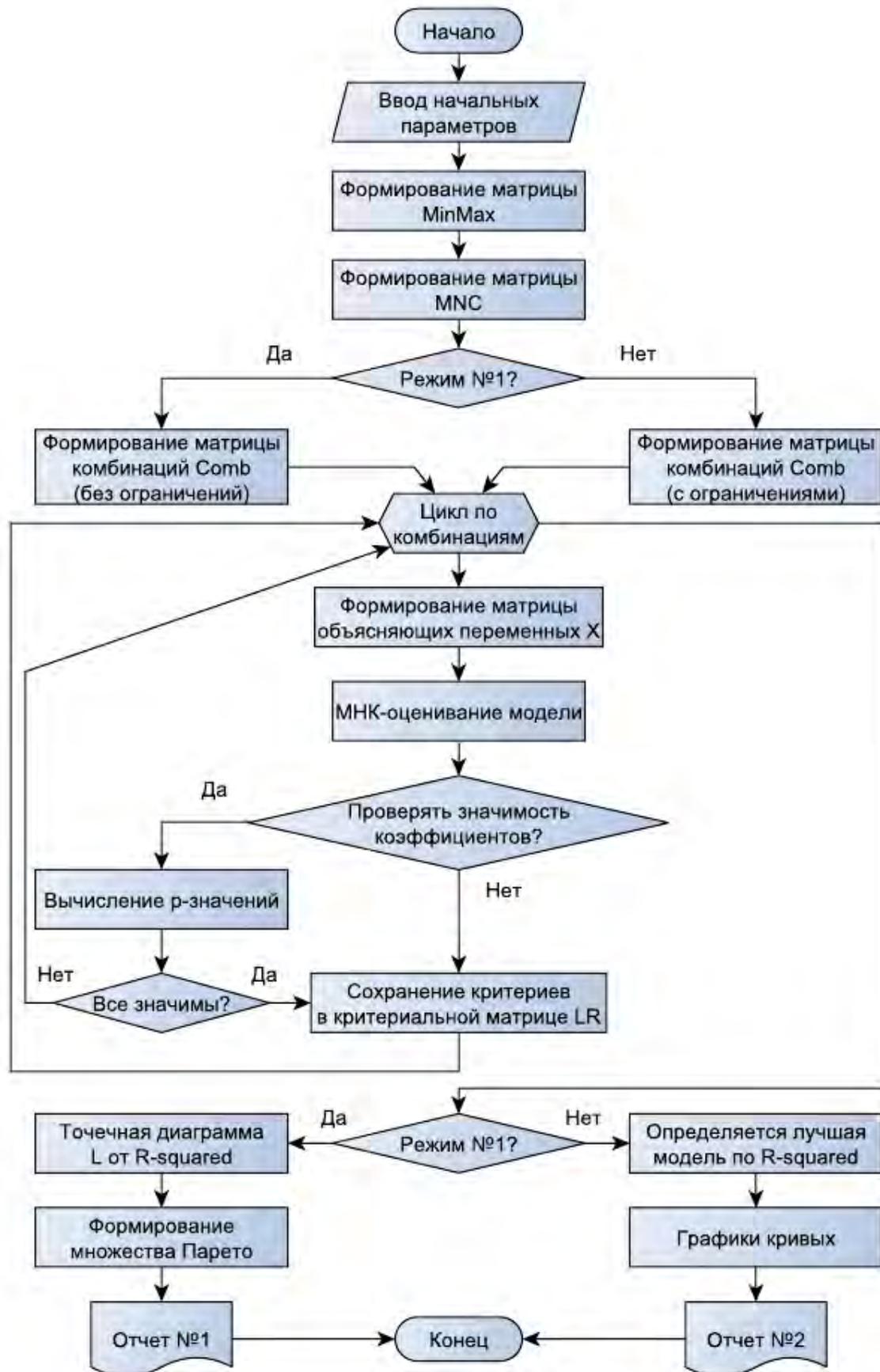


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы программы
Fig. 1. Block diagram of the program operation algorithm



Границу нелинейности N_{elin} (для режима № 2). По умолчанию $N_{elin} = 0,2$. Преобразованные переменные, у которых значение критерия нелинейности «по площади» будет превосходить величину N_{elin} , будут отсеяны.

Значение переменной Z_{nach} , отвечающей за необходимость отсека в обоих режимах моделей, в которых хотя бы один коэффициент незначим по t -критерию Стьюдента на уровне U_r . Если $Z_{nach} = 1$, то исключение установлено, а если $Z_{nach} = 2$, то нет.

4. Уровень значимости U_r (для исключения моделей с незначимыми по t -критерию Стьюдента коэффициентами). По умолчанию $U_r = 0,1$.

После ввода начальных параметров и запуска ПК КВАРТОН-1 первым делом формируется матрица $MinMax$ размера $2 \times m$, первая строка которой содержит минимальные значения каждой объясняющей переменной, а вторая – их максимальные значения.

Затем на основе матрицы $MinMax$ формируется матрица критериев нелинейности переменных MNC размера $m \times q$. На пересечении i -й строки и j -го столбца этой матрицы содержится значение критерия нелинейности i -й переменной, преобразованной с помощью j -й функции. Элементы матрицы MNC определяются по формуле (3).

Далее в зависимости от выбранного режима формируется матрица комбинаций моделей $Comb$. Для этого использован модуль `itertools` языка Python. В режиме № 1 нет ограничений на значения критериев нелинейности «по площади», поэтому формируются все возможные комбинации преобразованных переменных, общее число которых есть число размещений с повторениями из q элементов вектора `transf` по m . В этом случае матрица $Comb$ имеет размер $q^m \times m$.

В режиме № 2 сначала исключаются те преобразованные переменные, для которых значения критериев нелинейности превышают величину N_{elin} . В результате для каждой объясняющей переменной из набора x_1, x_2, \dots, x_m формируется свой вектор преобразованных переменных `transf_1, transf_2, \dots, transf_m`, состоящий из q_1, q_2, \dots, q_m преобразований соответственно. Если все эти векторы не являются пустыми, то матрица $Comb$ находится как их декартово произведение и имеет размер $\left(\prod_{j=1}^m q_j \right) \times m$.

После формирования матрицы $Comb$ запускается общий для обоих режимов цикл по всем её строкам. Внутри него сначала для каждой комбинации преобразований формируется матрица значений объясняющих переменных X . Затем с помощью модуля `statsmodels` языка Python на основе матрицы X находятся МНК-оценки модели. Далее, если пользователем не выбрана опция исключения моделей с незначимыми по t -критерию Стьюдента коэффициентами ($Z_{nach} = 2$), то характеристики регрессии (её номер, значение критериев L и R^2) сохраняются в очередной строке критериальной матрицы LR . Если опция исключения моделей выбрана ($Z_{nach} = 1$), то для всех коэффициентов определяются P -значения и проверяются условия их превышения заданному уровню значимости U_r . Если хотя бы одно условие выполняется, то характеристики регрессии не сохраняются в критериальной матрице LR . В противном случае, когда все коэффициенты значимы, информация о модели заносится в LR .

После завершения формирования критериальной матрицы LR алгоритм работы ПК КВАРТОН-1 разветвляется в зависимости от выбранного режима. В режиме № 1 на основе матрицы LR строится точечная диаграмма зависимости значений критерия L от R^2 , а также формируется множество Парето для двухкритериальной задачи (5). Затем автоматически формируется отчет № 1 в Microsoft Word, содержащий исходные статистические данные, матрицу критериев нелинейности переменных MNC , параметры поиска (информация о выбранном режиме и опции исключения моделей), количество проанализированных моделей, точечную диаграмму зависимости L от R^2 и уравнения регрессий, входящих во множество Парето. Для каждого уравнения в этом множестве указаны значения критериев L и R^2 , ин-

формация о значимости его коэффициентов в словесной форме, а также угловые коэффициенты (4), которые можно использовать для интерпретации вместо оцененных коэффициентов. В режиме № 2 на основе матрицы LR выбирается лучшая по величине коэффициента R^2 модель, для которой строятся графики кривых, отражающих нелинейность её переменных. Затем автоматически формируется отчет № 2, который отличается от отчета № 1 тем, что в нем вместо точечной диаграммы и множества Парето содержится уравнение одной единственной наилучшей регрессии и соответствующие ей графики кривых.

Необходимо выделить следующие две особенности ПК КВАРТОН-1.

1. Программный комплекс не предназначен для решения задач отбора наиболее «информативных» объясняющих переменных [Носков, 1996]. Иными словами, все объясняющие переменные, указанные в исходном наборе данных, включаются явно или в виде преобразований в каждую оцененную в результате работы программы спецификацию модели.

2. Желательно работать с программным комплексом после проведения процедуры отбора наиболее «информативных» переменных, заранее получив адекватную модель со всеми значимыми и удовлетворяющую содержательному смыслу задачи коэффициентами. Таким образом, ПК КВАРТОН-1 выполняет функцию улучшения выбранной на начальном этапе хорошей модели.

Решение прикладной задачи

Актуальной научной задачей является моделирование перевозочных процессов [Щербанин и др., 2017; Lee, Kim, 2018; Khan M., Khan F, 2020; Gao et al., 2020; Pompigna, Mauro, 2020]. Для демонстрации работы ПК КВАРТОН-1 решалась задача моделирования грузовых железнодорожных перевозок в Иркутской области. Для этого с использованием архивов Росстата (<https://rosstat.gov.ru/>) были собраны статистические данные (табл. 1) за период с 2000 г. по 2018 г. по следующим переменным:

y – отправление грузов железнодорожным транспортом общего пользования (млн тонн);

x_8 – число собственных легковых автомобилей на 1000 человек населения (штук);

x_{18} – число предприятий и организаций (тысяч);

x_{36} – удельный вес автомобильных дорог с усовершенствованным покрытием в протяженности автомобильных дорог с твердым покрытием общего пользования (в процентах);

x_{39} – среднегодовая номинальная начисленная заработная плата работников транспорта (тысяч рублей);

x_{58} – тарифы на грузовые перевозки (железнодорожный транспорт), найденные через соответствующие индексы при величине реального тарифа в 2001 г., взятого равным 1000 усл. ед.

Заметим, что изначальное количество объясняющих переменных было равно 62. После применения метода исключения их осталось 5.

С помощью МНК по исходным данным была оценена модель множественной линейной регрессии:

$$\tilde{y} = -54,059 - 0,15 x_8 + 0,899 x_{18} + 2,394 x_{36} + 1,888 x_{39} - 0,0216 x_{58}, \quad (6)$$

(-2,477) (4,385) (1,873) (2,147) (-2,184)

для которой коэффициент детерминации $R^2 = 0,8158$. В скобках под коэффициентами регрессии указаны значения t-критерия Стьюдента. Как видно, все коэффициенты значимы и соответствуют экономическому смыслу задачи.



Затем проводилось моделирование с использованием ПК КВАРТОН-1. Для этого было использовано 9 элементарных функций: x , x^2 , x^3 , $x^{-0,5}$, $\frac{1}{x}$, $\frac{1}{x^2}$, $\frac{1}{x^3}$, \sqrt{x} , $\ln x$. Для построения множества Парето был выбран первый режим (Rezh = 1). И для отсеечения уравнений с незначимыми коэффициентами было задано Znach = 1 для уровня значимости Ur = 0,1.

Таблица 1
Table 1

Статистические данные
Statistical data

Год	y	x ₈	x ₁₈	x ₃₆	x ₃₉	x ₅₈
2000	50,7	138,8	46,041	39,3	3,537	656,102
2001	51,6	140	49,542	39,8	4,804	1000
2002	50,2	147,2	52,724	39,8	6,385	1203
2003	58,2	151,6	56,566	40	8,166	1283,601
2004	61,7	156,5	59,127	40,2	10,353	1450,469
2005	68,1	143,3	63,414	40,3	12,067	1624,525
2006	68,7	154,8	65,351	40,2	13,992	1746,852
2007	66,7	169,2	68,652	40,2	16,429	1895,334
2008	67,2	188,2	68,049	40,4	20,64	2354,763
2009	59,6	189,8	70,896	40,4	23,759	2613,081
2010	64,5	202,6	65,839	40,6	27,899	2859,494
2011	59,3	224,3	61,591	41,3	30,605	2999,324
2012	59,3	251,5	62,285	38,7	33,76	3088,404
2013	57,6	271,8	64,761	39,3	36,198	3269,075
2014	53,6	270,5	66,593	39,5	38,142	3361,59
2015	50,6	271,3	68,106	38,4	39,939	3799,605
2016	49,1	242,7	64,669	37,7	42,755	4092,555
2017	50,4	246,2	62,156	37,9	46,107	4244,389
2018	50	245,6	59,557	37,4	49,78	4472,312

В результате работы ПК КВАРТОН-1 был сформирован отчет в формате Microsoft Word. Приведем основное его содержимое.

В таблице 2 содержится матрица критериев нелинейности MNC.

Таблица 2
Table 2

Матрица критериев нелинейности (MNC)
Matrix of non-linearity criteria (MNC)

Преобр. Перем.	x	x ²	x ³	x ^{-0,5}	$\frac{1}{x}$	$\frac{1}{x^2}$	$\frac{1}{x^3}$	\sqrt{x}	ln x
x ₈	0	0,108	0,2086	0,1664	0,2207	0,3239	0,4173	0,0555	0,1112
x ₁₈	0	0,0709	0,1396	0,1075	0,143	0,2126	0,2792	0,0358	0,0717
x ₃₆	0	0,0165	0,033	0,0248	0,0331	0,0496	0,066	0,0083	0,0165
x ₃₉	0	0,2891	0,4623	0,5791	0,7175	0,8673	0,9246	0,193	0,3966
x ₅₈	0	0,248	0,4188	0,4461	0,5704	0,7441	0,8376	0,1487	0,3018

Как видно по таблице 2, самым нелинейным преобразованием оказалось x^{-3} для переменной x_{39} .

В ПК КВАРТОН-1 автоматически было оценено 59049 регрессионных моделей. Из них в 1396 регрессиях все коэффициенты оказались значимы по t-критерию Стьюдента для уровня значимости $Ur = 0,1$. Эти модели нанесены точками на точечную диаграмму, представленную на рисунке 2.

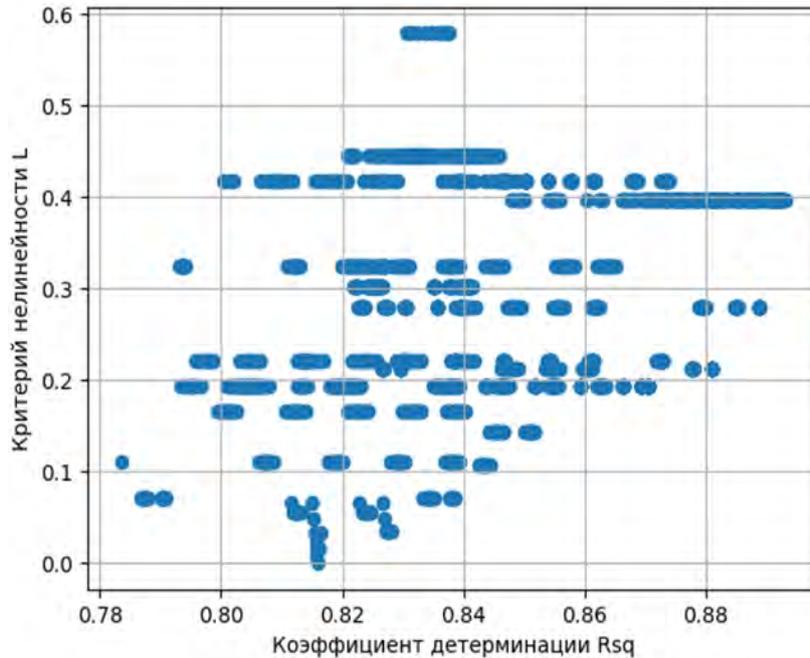


Рис. 2. Точечная диаграмма для критериев R^2 и L

Fig. 2. Scatter plot for R^2 and L criteria

По рисунку 2 видно, что для исходных данных существует довольно много качественных и вполне интерпретируемых моделей, для которых $R^2 \geq 0,8$, а $L \leq 0,2$.

Сформированное в ПК КВАРТОН-1 множество Парето представлено в таблице 3.

Таблица 3

Table 3

Множество Парето
 Pareto set

№	Преобразованные переменные	L	R^2
1	2	3	4
1	$x_8, x_{18}, x_{36}, x_{39}, x_{58}$	0	0,8159
2	$x_8, x_{18}, x_{36}^2, x_{39}, x_{58}$	0,0165	0,8161
3	$x_8, x_{18}, x_{36}^3, x_{39}, x_{58}$	0,033	0,8163
4	$x_8, \sqrt{x_{18}}, x_{36}^3, x_{39}, x_{58}$	0,0358	0,828
5	$x_8, \ln x_{18}, x_{36}^3, x_{39}, x_{58}$	0,0717	0,8387
6	$\sqrt{x_8}, x_{18}^{-0,5}, x_{36}^3, x_{39}, x_{58}$	0,1075	0,8443
7	$\sqrt{x_8}, x_{18}^{-1}, x_{36}^3, x_{39}, x_{58}$	0,143	0,8519



Окончание табл. 3

1	2	3	4
8	$\sqrt{x_8}, x_{18}^{-1}, x_{36}^{-3}, \sqrt{x_{39}}, \sqrt{x_{58}}$	0,193	0,8706
9	$\ln x_8, x_{18}^{-2}, x_{36}^3, \sqrt{x_{39}}, \sqrt{x_{58}}$	0,2126	0,8811
10	$\ln x_8, x_{18}^{-3}, x_{36}^3, \sqrt{x_{39}}, \sqrt{x_{58}}$	0,2792	0,8888
11	$x_8^{-0,5}, x_{18}^{-3}, x_{36}^{-3}, \ln x_{39}, \ln x_{58}$	0,3966	0,8933

Как и следовало ожидать, нулевое значение критерия нелинейности L в таблице 3 получено для линейной регрессии (6). Вместе с тем она имеет и самое низкое значение коэффициента детерминации $R^2 = 0,8159$. Лучшей по величине коэффициента детерминации в таблице 3 оказалась модель № 11, для которой $R^2 = 0,8933$. Но она же является и самой нелинейной по величине L . Таким образом, с помощью таблицы 3 можно проследить плавную трансформацию линейной регрессии в нелинейную модель с наибольшим коэффициентом детерминации.

Уравнение регрессии № 11 в таблице 3 имеет вид:

$$\tilde{y} = 262,786 + 826,754 x_8^{-0,5} - 1771236,248 x_{18}^{-3} - 1576200,523 x_{36}^{-3} + 34,794 \ln x_{39} - 43,256 \ln x_{58}. \quad (7)$$

(3,185)
(-2,057)
(-2,163)
(3,758)
(-3,706)

Все коэффициенты этого уравнения значимы.

Для модели (7) критерии нелинейности для преобразованных переменных x_{18}^{-3} , $\ln x_{39}$ и $\ln x_{58}$ превышают величину 0,2 и составляют соответственно 0,2792, 0,3966 и 0,3018. Поэтому коэффициенты при этих преобразованиях в уравнении (7) некорректно интерпретировать с помощью показателей (4). Стоит заметить, что переменные, преобразованные с помощью элементарной функции $\ln x$, всё же могут быть всегда интерпретированы по правилу: если x_j изменится на 1 %, то y изменится примерно на $\frac{\tilde{\alpha}_j}{100}$ единиц. Однако даже в этом случае не ясно, как объяснить преобразование x_{18}^{-3} .

Затем ПК КВАРТОН-1 был запущен во втором режиме ($Rezh = 2$) для тех же элементарных функций при $Znach = 1$, $Ur = 0,2$, $Nelin = 0,2$. В этом случае было автоматически проанализировано 1260 моделей, из которых в 429 регрессиях все коэффициенты оказались значимы по t-критерию Стьюдента. Лучшей из них оказалась регрессия № 8 из таблицы 3, имеющая уравнение:

$$\tilde{y} = 209,482 - 4,57 \sqrt{x_8} - 2572,246 x_{18}^{-1} - 1556602,187 x_{36}^{-3} + 18,477 \sqrt{x_{39}} - 2,183 \sqrt{x_{58}}. \quad (8)$$

(-3,193)
(-3,968)
(-1,849)
(3,104)
(-3,116)

Все коэффициенты этого уравнения значимы.

Уравнение (8) является неким компромиссом между линейной регрессией (6) и сильно нелинейной, поэтому плохо интерпретируемой, регрессией (7).

Для модели (8) в ПК КВАРТОН-1 автоматически для каждой преобразованной переменной на интервале $[x_{\min}^j, x_{\max}^j]$ построена кривая $f_{\omega_j}(x_j)$, а через её концы проведена соответствующая прямая (рис. 3).

Также автоматически для интерпретации уравнения (8) были определены показатели (4): $k_{x_8} = -0,1616$, $k_{x_{18}} = 0,788$, $k_{x_{36}} = 1,9637$, $k_{x_{39}} = 2,0676$, $k_{x_{58}} = -0,0236$. Эти коэффициенты интерпретируются по такому же принципу, как и оценки в линейной регрессии (6). Например, в Иркутской области с ростом числа предприятий и организаций x_{18} на 1 тысячу отпра-

ние грузов железнодорожным транспортом общего пользования у увеличивается примерно на 0,788 млн тонн.

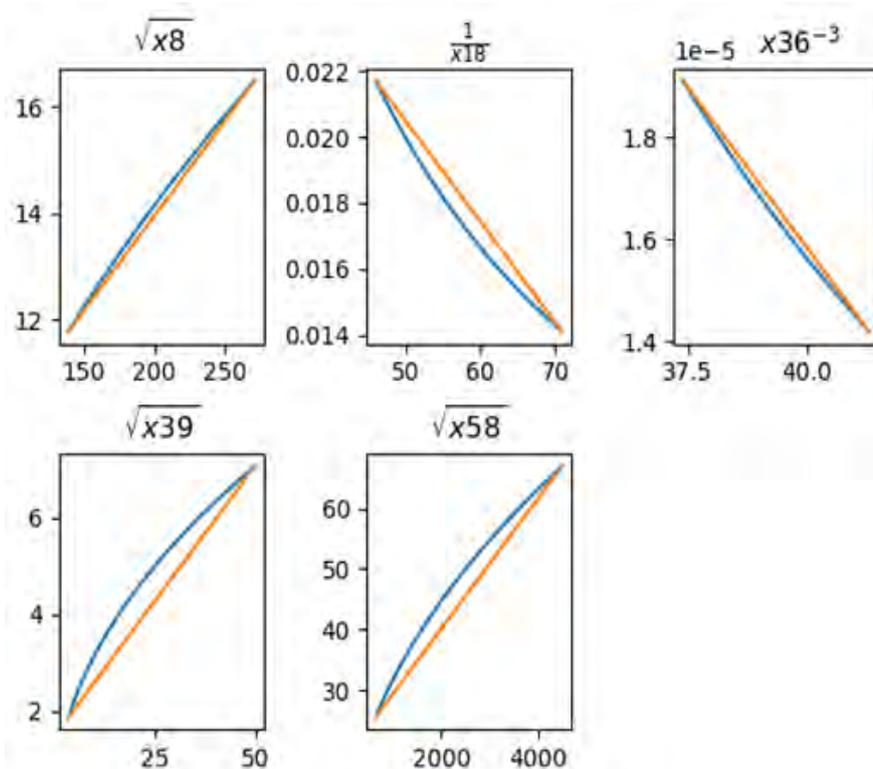


Рис. 3. Визуализация степени нелинейности преобразованных переменных в (8)
Fig. 3. Visualization of the non-linearity degree for the transformed variables in (8)

Заключение

В работе приводится описание ПК КВАРТОН-1, предназначенного для выбора структурных спецификаций квазилинейных регрессий по коэффициенту детерминации и общему критерию нелинейности. С помощью ПК КВАРТОН-1 была построена высококачественная и вполне интерпретируемая квазилинейная регрессионная модель (8) грузовых железнодорожных перевозок в Иркутской области.

Резюмируя, ещё раз подчеркнем, что разработанный нами ПК КВАРТОН-1 является универсальным и может быть использован для решения прикладных задач из самых разных предметных областей.

Список литературы

- Баенхаева А.В., Базилевский М.П., Носков С.И. 2016. Выбор структурной спецификации регрессионной модели валового регионального продукта Иркутской области. Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем, 16: 31–38.
- Базилевский М.П. 2018. Критерии нелинейности квазилинейных регрессионных моделей. Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 6 (4): 185–195. DOI: 10.26102/2310-6018/2018.23.4.015
- Базилевский М.П., Караулова А.В. 2021. Выбор оптимального соотношения между точностью и нелинейностью при построении квазилинейных регрессионных моделей. Вестник кибернетики, 4 (44): 63–70.
- Базилевский М.П., Носков С.И. 2012. Методические и инструментальные средства построения некоторых типов регрессионных моделей. Системы. Методы. Технологии, 1: 80–87.
- Носков С.И. 2021. Динамический критерий согласованности поведения при оценке адекватности регрессионных моделей. Вестник Технологического университета, 24 (7): 103–105.



- Носков С.И. 2021. Реализация конкурса регрессионных моделей с применением критерия согласованности поведения. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии, 2: 153–160.
- Носков С.И. 1996. Технология моделирования объектов с нестабильным функционированием и неопределенностью в данных. Иркутск, Облформпечать, 321 с.
- Носков С.И., Врублевский И.П. 2016. Регрессионная модель динамики эксплуатационных показателей функционирования железнодорожного транспорта. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование, 2 (50): 192–197.
- Щербанин Ю. А., Ивин Е.А., Курбацкий А.Н., Глазунова А.А. 2017. Эконометрическое моделирование и прогнозирование спроса на грузовые перевозки в России в 1992–2015 гг. Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, 15.
- Borowiak D. S. 2020. Model discrimination for nonlinear regression models. CRC Press.
- Brook R. J., Arnold G. C. 2018. Applied regression analysis and experimental design. CRC Press.
- Cavanaugh J. E., Neath A. A. 2019. The Akaike information criterion: Background, derivation, properties, application, interpretation, and refinements. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 11 (3): e1460. <https://doi.org/10.1002/wics.1460>
- Chicco D., Warrens M. J., Jurman G. 2021. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. PeerJ Computer Science 7: e623. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>
- Gao H., Zhang M., Goodchild A. 2020. Empirical Analysis of Relieving High-Speed Rail Freight Congestion in China. Sustainability, 12 (23): 9918. <https://doi.org/10.3390/su12239918>
- Khan M. Z., Khan F. N. 2020. Estimating the demand for rail freight transport in Pakistan: A time series analysis. Journal of Rail Transport Planning & Management, 14: 100176. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2019.100176>
- Lawrence K. D. 2019. Robust regression: analysis and applications. Routledge.
- Lee H. K., Kim H. B. 2018. The impacts of rail freight rate changes on regional economies, modal shift, and environmental quality in Korea. International Journal of Urban Sciences, 22 (4): 517–528. <https://doi.org/10.1080/12265934.2018.1476176>
- Mize T. D. 2019. Best practices for estimating, interpreting, and presenting nonlinear interaction effects. Sociological Science, 6: 81–117. <http://dx.doi.org/10.15195/v6.a4>
- Montgomery D. C., Peck E. A., Vining G. G. 2021. Introduction to linear regression analysis. John Wiley & Sons.
- Pompigna A., Mauro R. 2020. Input/Output models for freight transport demand: a macro approach to traffic analysis for a freight corridor. Archives of Transport, 54 (2): 21–42. DOI: 10.5604/01.3001.0014.2729

References

- Baenkhaeva A.V., Bazilevskiy M.P., Noskov S.I. 2016. Vybor strukturnoy spetsifikatsii regressionnoy modeli valovogo regional'nogo produkta Irkutskoy oblasti [Choice of the regression model structural specification for the gross regional product of the Irkutsk region]. Informatsionnye tekhnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya slozhnykh sistem, 16: 31–38.
- Bazilevskiy M.P. 2018. Kriterii nelineynosti kvazilineynykh regressionnykh modeley [Nonlinear criteria of quasilinear regression models]. Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii, 6(4): 185–195. DOI: 10.26102/2310-6018/2018.23.4.015
- Bazilevskiy M.P., Karaulova A.V. 2021. Vybor optimal'nogo sootnosheniya mezhdu tochnost'yu i nelineynost'yu pri postroenii kvazilineynykh regressionnykh modeley [Selecting the optimum relationship between accuracy and non-linearity in constructing quasi-linear regression models]. Vestnik kibernetiki, 4 (44): 63–70.
- Bazilevskiy M.P., Noskov S.I. 2012. Metodicheskie i instrumental'nye sredstva postroeniya nekotorykh tipov regressionnykh modeley [Methodology and instrumental tools for construction some types of regression models]. Sistemy. Metody. Tekhnologii, 1: 80–87.
- Noskov S.I. 2021. Dinamicheskii kriteriy soglasovannosti povedeniya pri otsenke adekvatnosti regressionnykh modeley [Dynamic criterion for consistency of behavior when evaluating the adequacy of regression models]. Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta, 24 (7): 103–105.
- Noskov S.I. 2021. Realizatsiya konkursa regressionnykh modeley s primeneniem kriteriya soglasovannosti povedeniya [Implementation of the competition of regression models using the criterion of consistency]



- of behavior]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyy analiz i informatsionnye tekhnologii*, 2: 153–160.
- Noskov S.I. 1996. *Tekhnologiya modelirovaniya ob"ektov s nestabil'nym funktsionirovaniem i neopredelennost'yu v dannykh [Object modeling technology with unstable operation and data uncertainty]*. Irkutsk, Oblinformpechat', 321 p.
- Noskov S.I., Vrublevskiy I.P. 2016. *Regressionnaya model' dinamiki ekspluatatsionnykh pokazateley funktsionirovaniya zhelezodorozhnogo transporta [Railway transport functioning the regression model performance indicators dynamics]*. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie*, 2 (50): 192–197.
- Shcherbanin Yu. A., Ivin E.A., Kurbatskiy A.N., Glazunova A.A. 2017. *Ekonometricheskoe modelirovanie i prognozirovaniye sprosa na gruzovye perevozki v Rossii v 1992–2015 gg [Econometric Modeling and Forecasting of Demand for Freight Transportation in Russia in 1992–2015]*. *Nauchnye trudy: Institut narodnokhozyaystvennogo prognozirovaniya RAN*, 15.
- Borowiak D. S. 2020. *Model discrimination for nonlinear regression models*. CRC Press.
- Brook R. J., Arnold G. C. 2018. *Applied regression analysis and experimental design*. CRC Press.
- Cavanaugh J. E., Neath A. A. 2019. *The Akaike information criterion: Background, derivation, properties, application, interpretation, and refinements*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 11 (3): e1460. <https://doi.org/10.1002/wics.1460>
- Chicco D., Warrens M. J., Jurman G. 2021. *The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation*. *PeerJ Computer Science* 7: e623. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>
- Gao H., Zhang M., Goodchild A. 2020. *Empirical Analysis of Relieving High-Speed Rail Freight Congestion in China*. *Sustainability*, 12 (23): 9918. <https://doi.org/10.3390/su12239918>
- Khan M. Z., Khan F. N. 2020. *Estimating the demand for rail freight transport in Pakistan: A time series analysis*. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 14: 100176. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2019.100176>
- Lawrence K. D. 2019. *Robust regression: analysis and applications*. Routledge.
- Lee H. K., Kim H. B. 2018. *The impacts of rail freight rate changes on regional economies, modal shift, and environmental quality in Korea*. *International Journal of Urban Sciences*, 22 (4): 517–528. <https://doi.org/10.1080/12265934.2018.1476176>
- Mize T. D. 2019. *Best practices for estimating, interpreting, and presenting nonlinear interaction effects*. *Sociological Science*, 6: 81–117. <http://dx.doi.org/10.15195/v6.a4>
- Montgomery D. C., Peck E. A., Vining G. G. 2021. *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons.
- Pompigna A., Mauro R. 2020. *Input/Output models for freight transport demand: a macro approach to traffic analysis for a freight corridor*. *Archives of Transport*, 54 (2): 21–42. DOI: 10.5604/01.3001.0014.2729

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Караулова Анна Витальевна, аспирант кафедры информационных систем и защиты информации, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

Базилевский Михаил Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры математики, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna V. Karaulova, Postgraduate Student of the Department of Information Systems and Information Protection, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

Mikhail P. Bazilevskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia



УДК 519.6,51.75

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-134-144

Аналитическая и компьютерная реализация моделей приближенного расчета вероятностных параметров краткосрочного страхования жизни

Сафина Г.Ф.

Нефтекамский филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный университет»,
Россия, Республика Башкортостан, 452680, г. Нефтекамск, ул. Тракторная, д. 1.
E-mail: safinagf@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена практическому применению моделей краткосрочного страхования жизни. Приведены теоремы, на которых основаны приближенные методы расчета вероятностных характеристик суммарного иска и аналитические решения ключевых примеров, опирающихся на данные математические модели. Проведен сравнительный анализ результатов решений по моделям Пуассона и Гаусса. Показано применение более общей модели Гаусса к случаям разных групп застрахованных в страховых компаниях с различными условиями договоров страхования их жизни на 1 год. Алгоритмы решений реализованы также в компьютере – создан программный модуль для расчета вероятностных параметров суммарного иска: нетто-премии, реальной выплаты за страховку, страховой надбавки, относительной страховой надбавки. Коды программного модуля скомпилированы на объектно-ориентированном языке C# с использованием среды Visual Studio. Модуль проводит актуарные расчеты характеристик работы страховой компании при входных данных, таких как количество договоров, страховая сумма при наступлении страхового случая, вероятность предъявления требований и т. д. Применение программного модуля к таким вероятностным расчетам позволяет рационально использовать время работы страховых компаний и ускоряет принятие ими текущих решений, особенно в случаях реализации портфелей разных видов краткосрочного страхования.

Ключевые слова: модели краткосрочного страхования, вероятностные параметры, модель Пуассона, модель Гаусса, реальная плата за страховку, нетто-премия, Visual Studio, язык программирования C#, программный модуль, входные и выходные данные

Для цитирования: Сафина Г.Ф. 2022. Аналитическая и компьютерная реализация моделей приближенного расчета вероятностных параметров краткосрочного страхования жизни. Экономика. Информатика. 49(1): 134–144. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-134-144

Analytical and computer implementation models of approximate calculation of probabilistic parameters of short-term life insurance

Gulnara F. Safina

Neftekamsk branch of Bashkir State University,
1 Traktovaya St, Neftekamsk, 452680, Republic of Bashkortostan, Russia
E-mail: safinagf@mail.ru

Abstract. The work is devoted to the practical application of short-term life insurance models. Theorems are given on which approximate methods for calculating the probability characteristics of the summary risk and analytical solutions of key examples based on these mathematical models are based. A comparative analysis of the results of decisions on Poisson and Gauss models was carried out. The application of the more general Gauss model to cases of different groups of insured in insurance companies with different conditions of their life insurance contracts for 1 year is shown. Solution algorithms are also implemented in the computer – a software module has been created to calculate the probabilistic parameters of the total claim: net premium, real payment for insurance, insurance premium, relative insurance premium. Software module codes are compiled in object-oriented language C # using Visual Studio. The module allows you to carry out actuarial

calculations of the characteristics of the work of the insurance company with input data, such as the number of contracts, the insurance amount in case of an insured event, the probability of presenting claims, etc. The application of the software module to such probabilistic calculations allows rational use of the operating time of insurance companies and accelerates their adoption of current decisions, especially in cases of implementation of portfolios of various types of short-term insurance.

Keywords: short-term insurance models, probabilistic parameters, Poisson model, Gauss model, real insurance fee, net premium, Visual Studio, C# programming language, software module, input and output

For citation: Safina G.F. 2022. Analytical and computer implementation models of approximate calculation of probabilistic parameters of short-term life insurance. Economics. Information technologies. 49(1): 134–144 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-134-144

Введение

Известно, что жизнь каждого человека связана с риском возможных различных потерь, среди которых особую роль следует отвести риску, сопряженным со случайностью наступления момента смерти. Учетом такого риска и моделированием в данной сфере занимается актуарная наука, которую можно отнести как к фундаментальной, так и прикладной математике.

Исследования научного и прикладного характера в актуарной сфере касаются многочисленных вопросов, причем делятся на базовые группы страхования: краткосрочное – не учитывающее условия изменчивости рынка и стоимости денежных сумм во времени, долгосрочное – учитывающее оба этих условия.

Теоретическим фундаментальным положениям актуарной математики со специфическими ее обозначениями как в теории краткосрочного, так и долгосрочного страхования жизни, посвящено большое количество научных трудов [Голубин, 2003; Гохман, 2008; Касимов, 2005; Фалин, 1994]. Эти труды рассматривают математические модели точного и приближенного расчета как индивидуального, так и суммарного иска страховых компаний. Особое внимание в актуарных трудах отводится риску, связанному с вероятностью разорения или неразорения страховых компаний, анализу таких рисковых характеристик, от которых зависит функционирование и успешная деятельность компаний [Шахов, 1999; Яковлева, Шевченко, 2003]. Практическому применению моделей страхования жизни, как точным, так и приближенным методам, посвящено также много исследований [Фалин, Фалин, 2002; Баскаков, Рябкин, Тихомиров, 2009; Сафина, 2013].

Понятно, что для страховых компаний существенный интерес и практическую значимость имеет именно суммарный иск, предъявляемый со стороны всех застрахованных лиц в данной компании. Для расчетов суммарного иска применимы как точные, так и приближенные методы. Но алгоритмы точного расчета суммарного иска даже с использованием программных средств часто приводят к проблемам расчетов: число застрахованных лиц в компании обычно велико, а вероятность смерти застрахованного в течение года очень мала [Сафина, 2020]. Поэтому для страховых компаний важно применение именно приближенных моделей и методов, учитывающих оба предыдущих обстоятельства.

Именно такому алгоритмическому применению приближенных методов посвящена данная работа. Приводится сравнительный анализ двух приближенных методов и показывается применение метода Гаусса к случаю использования портфелей с разными группами застрахованных лиц. К алгоритмическому решению приведена компьютерная реализация, позволяющая автоматизировать проводимые вероятностные расчеты.

Объекты и методы исследования

Рассмотрим стандартный случай страхования жизни человека на 1 год: трудоспособный человек возраста x лет обращается в страховую компанию и приобретает по договору



страховой полис за p д. е., перекладывая риск, связанный со случайностью момента своей смерти, на страховую компанию. Риск же компании заключается в различном значении страховой выплаты (страховой премии) в течение следующего года договора: при наступлении страхового случая – b д. е., при ненаступлении – 0 д. е.

Т. к. предъявляемый индивидуальный иск в этих случаях различный, то его можно рассматривать дискретной случайной величиной X с соответствующим законом распределения [Фалин, 1994]:

$X = x_i$	0	b
$p_i = P(X = x_i)$	p_x	q_x

Здесь приняты обозначения: p_x – вероятность того, что застрахованный проживет следующий год страхования жизни (страховой случай не наступит), а $q_x = 1 - p_x$ – вероятность смерти застрахованного в течение года (страховой случай наступит).

На практике чаще возникает не описанный простейший случай страхования, а более общий, подразумевающий в договоре страхования разные выплаты b_i ($i = \overline{1; n}$) при возможности вариантов наступления страхового случая, например, по болезни, при несчастном случае и т. д. Закон распределения индивидуального иска в таких случаях примет вид:

$X = x_i$	0	b_1	b_2	\dots	b_n
$p_i = P(X = x_i)$	p_x	q_{1x}	q_{2x}	\dots	q_{nx}

Для индивидуального иска, как и для любых дискретных случайных величин, приняты обозначения и понятия числовых характеристик [Сафина, 2013; Ахтямов, 2005]:

– математическое ожидание – средняя величина убытка:

$$EX = \sum_{i=1}^{\infty} x_i p_i; \quad (1)$$

– дисперсия – разброс значений иска от среднего убытка:

$$VarX = EX^2 - (EX)^2, \quad \text{где } EX = \sum_{i=1}^{\infty} x_i p_i, \quad EX^2 = \sum_{i=1}^{\infty} x_i^2 p_i; \quad (2)$$

– среднее квадратическое отклонение \sqrt{VarX} – величина, на которую отличаются значения иска от среднего убытка с одного застрахованного.

Приняты также следующие расчетные параметры для индивидуального иска:

– нетто-премия p_0 – сумма (д. е.), обеспечивающая нулевой доход компании от одного иска

$$EX = p_0; \quad (3)$$

– брутто-премия p – реальная плата за страховку;

– страховая l и относительная страховая θ надбавки – суммы (д. е.), покрывающие текущие расходы страховой компании:

$$l = p - p_0; \quad (4)$$

$$\theta = \frac{l}{p_0} = \frac{p - p_0}{p_0}. \quad (5)$$

Сумма выплат по всем N договорам называется суммарным иском и тоже является случайной величиной

$$S = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N = \sum_{i=1}^N X_i. \quad (6)$$

Функция распределения суммарного иска (6), т. е. $P(S \leq u)$ (u – капитал компании), задает вероятность неразорения страховой компании и играет важную роль для принятия вероятностных решений.

Для суммарного иска существуют аналогичные (1)–(3) числовые характеристики – средний суммарный иск, суммарная дисперсия и суммарное среднее квадратическое отклонение, которые задаются формулами, соответственно: $ES = N \cdot EX_i$, $VarS = N \cdot VarX_i$, \sqrt{VarS} . Определяются также вероятностные параметры, такие как суммарная страховая надбавка и относительная суммарная страховая надбавка:

$$l_s = Np - Np_0 = N(p - p_0); \quad (7)$$

$$\theta_s = \frac{l_s}{Np_0} = \frac{N(p - p_0)}{Np_0} = \frac{p - p_0}{p_0}. \quad (8)$$

Причем (8) показывает, что относительная страховая надбавка θ является одинаковой как для индивидуального, так и для суммарного исков.

Расчет суммарного иска (6), т. е. составление его закона распределения, а также функции распределения как вероятностной характеристики, удобно проводить как суммы случайных величин только при небольшом числе застрахованных в страховой компании. В работе [Сафина, 2013] рассмотрены такие методы точного расчета, как метод сумм и метод производящей функции. При большом числе застрахованных лиц ($N \rightarrow \infty$) методы точного расчета ведут к проблеме больших вычислений с малой вероятностью, даже с использованием программ. Такие проблемы можно решить приближенными методами расчета суммарного иска. Действительно, при росте числа застрахованных вероятность $P(S \leq u)$ неразорения страховой компании (функция распределения суммарного иска) имеет определенный предел, который и лежит в основе приближений суммарного иска.

Результаты и их обсуждение

Приближение Пуассона для суммарного иска применяется при простейшем виде краткосрочного страхования жизни (страховой случай наступит или не наступит) и основано на соответствующей теореме [Ахтямов, 2005].

Теорема Пуассона. Если случайные величины – индивидуальные иски X_i ($i = \overline{1; N}$) – одинаково распределены, независимы и принимают значения 0 (страховой случай не наступил) и 1 (страховой случай наступил) с соответствующими вероятностями $P(X_i = 0) = p_x$ и $P(X_i = 1) = q_x$, то при $N \rightarrow \infty$ и $\lambda = N \cdot EX_i$ функция распределения суммарного иска имеет предел, равный

$$P(X_1 + X_2 + \dots + X_N = k) \approx \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}. \quad (9)$$

В (9): λ – множитель Пуассона, значения которого собраны в таблицы в соответствии с капиталом страховой компании (квантилью $x_\alpha = u$), обеспечивающим вероятность неразорения компании порядка (не менее) $\alpha\%$, т. е. $P(S < x_\alpha) \geq \alpha$. Приведена таблица 1 для $\alpha = 95\%$.

Приближенную модель Пуассона рассмотрим на численной задаче.

Задача 1. Страховая компания реализует простейшие договора со страховой выплатой в размере 250 тысяч рублей при наступлении страхового случая. На этих условиях застраховано 3000 человек возраста 30–40 лет. Необходимо рассчитать нетто-премию и реальную сумму страхового полиса, а также страховые надбавки при условии Пуассоновского приближения суммарного иска и вероятности неразорения компании 95 %.



Таблица 1
Table 1

Значения квантилей для распределения Пуассона при $\alpha = 95\%$
 Quantile values for Poisson distribution at $\alpha = 95\%$

λ	x_α	$P(S < x_\alpha)$	λ	x_α	$P(S < x_\alpha)$
0,8	2	95,26 %	5	9	96,82 %
0,9	3	98,85 %	6	10	95,74 %
1	3	98,10 %	7	12	97,30 %
2	5	98,34 %	8	13	96,58 %
3	5	96,65 %	9	14	96,55 %
4	8	97,86 %	10	15	95,13 %

Решение. По условию имеем: $N = 3000$ человек, $\alpha = 95\%$. По статистическим таблицам продолжительности жизни определяем также, что $q_{30-40} \approx 0,003$. За одну условную единицу примем: 1 у. е. = 250 тыс. руб. Тогда для каждого индивидуального иска X_i имеем:

$X = x_i$	0	1
$p_i = P(X = x_i)$	0,997	0,003

Определим множитель Пуассона (из (1), (3), (9)): $\lambda = N \cdot EX_i = 9$ у.е. Далее с учетом таблицы 1 находим соответствующий наименьший капитал (квантиль): $x_\alpha = U = 14$ у. е.

Тогда реальная выплата за страховку будет равна (отношение капитала к числу застрахованных): $p = \frac{u}{N} = \frac{x_\alpha}{N} = \frac{14}{3000} = 0,004(6)$ у. е. или $p = 0,0047 \cdot 250000 = 1161$ руб.

С учетом (3) определим также нетто-премию:

$$p_0 = EX_i = 0 \cdot 0,997 + 1 \cdot 0,003 = 0,003 \text{ у. е. или } p_0 = 0,003 \cdot 250000 = 750 \text{ руб.}$$

По (4) и (5) рассчитаем страховую надбавку и относительную страховую надбавку:

$$l = p - p_0 = 1175 - 750 = 425 \text{ руб.}, \quad \theta = \frac{l}{p_0} = \frac{p - p_0}{p_0} = \frac{425}{750} = 0,56 = 56\%.$$

Найдем также по (8) и (9) вероятностные параметры для суммарного иска:

$$l_s = N(p - p_0) = 3000 \cdot 425 = 1275 \text{ тыс. руб.}, \quad \theta_s = 0,56 = 56\%.$$

Остановимся теперь на приближении Гаусса для суммарного иска. Оно также основано на теореме из теории вероятностей, а именно на центральной предельной теореме, и по сравнению с приближением Пуассона оно применимо для более общих страховых вариантов [Ахтямов, 2005].

Теорема Гаусса: Если случайные величины – индивидуальные иски X_i ($i = \overline{1; N}$) – одинаково распределены, независимы и имеют числовые характеристики $EX_i = a$, $VarX_i = \sigma^2$, то при $N \rightarrow \infty$ функция распределения централизованной и нормированной случайной величины $Z = \frac{S - ES}{\sqrt{VarS}}$ имеет предел, равный

$$P(Z \leq x) = P\left(\frac{S - ES}{\sqrt{VarS}} \leq x\right) \approx \Phi(x), \quad (10)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – интегральная функция Лапласа.

Из теоремы следует, что если есть портфель из одинаковых договоров страхования жизни на 1 год, т. е. индивидуальные иски имеют одинаковые законы распределений (неза-

висимо от вида распределения: биномиальное, равномерное, геометрическое и т. д.), то суммарный иск S , содержащийся в величине Z из (10), имеет обязательно нормальное (гауссовское) распределение.

Для приближения Гаусса также существует таблица квантилей, как и для приближения Пуассона. В данном приближении наименьший капитал (квантиль) определяется как корень уравнения $\Phi(x_\alpha) = \alpha$. В таблице 2, например, приведены значения наименьшего капитала, соответствующие вероятности неразорения [95 %; 99 %].

Таблица 2
Table 2

Значения квантилей в приближении Гаусса
The values of the quantiles in the approximation of Gauss

α	99 %	98 %	97 %	96 %	95 %
x_α	2,33	2,05	1,88	1,75	1,645

Применение данного приближения покажем на условиях задачи 1. Т. к. в приближении Гаусса суммарный иск и его характеристики содержатся в случайной величине Z из (10), то найдем числовые характеристики индивидуальных исков и суммарного иска:

$$EX_i = 0,003 \text{ у.е.}; \text{Var}X_i = EX_i^2 - (EX_i)^2 = 0,0029 \text{ у.е.}; ES = N \cdot EX_i = 9 \text{ у.е.}; \\ \text{Var}S = N \cdot \text{Var}X_i = 8,9 \text{ у.е.}$$

Тогда с учетом вероятности неразорения компании 95 %, т. е. $P(S < u) \approx 95\%$ подведем данную вероятность к величине Z приближения Гаусса:

$$P(S \leq u) = P\left(\frac{S - ES}{\sqrt{\text{Var}S}} \leq \frac{u - ES}{\sqrt{\text{Var}S}}\right) \approx \Phi(x), \text{ где } x = \frac{u - ES}{\sqrt{\text{Var}S}}.$$

В приближении Гаусса квантиль x_α находим как корень уравнения $\Phi(x_\alpha) = \alpha$, тогда имеем: $\frac{u - ES}{\sqrt{\text{Var}S}} = x_{95\%}$. По таблице 2 находим соответствующий квантиль: $x_{95\%} = 1,645$, и с учетом значений $ES = 9$, $\text{Var}S_N = 8,9$ определим капитал компании: $\frac{u - 9}{\sqrt{8,9}} = 1,645$ или $u = 13,77$

у. е. Остается рассчитать реальную выплату за страховку и нетто-премию:

$$p = \frac{13,77}{3000} = 0,0046 \text{ у.е.}, \text{ или } p = 0,0046 \cdot 250000 = 1150 \text{ руб.}$$

$$p_0 = EX_i = 0,003 \text{ у.е.}, \text{ или } p_0 = 0,003 \cdot 250000 = 750 \text{ руб.}$$

Если сравнивать результаты решения задачи 1 двумя приближениями суммарного иска, то видим, что нетто-премия одна и та же в обоих случаях и равна 750 рублей. Реальная же выплата за страховой полис отличается: в приближении Пуассона составляет 1161 руб. Такое небольшое различие в результатах объясняется промежуточными приближениями в выполняемых расчетах по моделям, а также приведением коэффициента Пуассона к целому значению для подведения к существующим таблицам значений квантилей и множителей.

Остановимся далее на возможности применения приближения Гаусса к более широкому классу задач страхования, связанной с различными портфелями страхования жизни. При решении такого класса задач используется ранее учтенный момент о равенстве относительной страховой надбавки $\theta = \theta_s$ как для индивидуальных исков, так и для суммарного иска.

При реализации страховой компанией разных групп договоров страхования жизни с различными условиями находится относительная страховая надбавка по определяемым числовым характеристикам суммарного иска:

$$\theta = \frac{x_\alpha \sqrt{\text{Var}S}}{ES}. \quad (11)$$



Формула (11) следует из (10): $\frac{u - ES}{\sqrt{VarS}} = x_\alpha$, откуда $u = x_\alpha \sqrt{VarS} + ES$. В последнем выра-

жении: $ES = N \cdot EX_i = p_0^s$ – нетто-премия суммарного иска, $x_\alpha \sqrt{VarS} = l_s$ – страховая надбавка также суммарного иска. Тогда с учетом (8) получим (11). Далее с помощью (5) выразим реальную плату за страховку: $p - p_0 = \theta p_0$ или $p = p_0(1 + \theta)$. Последнее равенство для каждой группы застрахованных примет вид:

$$p^{(k)} = p_0^{(k)}(1 + \theta) = EX_i^{(k)}(1 + \theta), \quad (12)$$

где k – номер группы застрахованных лиц.

Рассмотрим и решим теперь актуарную задачу в случае разных групп застрахованных.

Задача 2. Страховая компания имеет 2 портфеля договоров краткосрочного страхования с различными условиями. Для первой группы застрахованных страховая выплата составляет 150 тысяч рублей в случае смерти по возрасту (от естественных причин) и 450 тысяч рублей при смерти от несчастного случая. Для второй группы выплаты по аналогичным страховым случаям, соответственно, равны 200 тысяч рублей и 650 тысяч рублей. Договоры первого вида (первого портфеля) составлены с 5 тысячами застрахованных лиц, второго вида (второго портфеля) – с 3 тысячами. Известны также: вероятность смерти по достижению возраста для первой группы составляет 0,05, для второй – 0,002, вероятности смерти от несчастного случая, соответственно для групп, равны – 0,01 и 0,05. Необходимо определить вероятностные суммы для каждой группы застрахованных лиц при Гауссовском приближении суммарного иска и вероятности неразорения страховой компании 97 %.

Решение. Имеем по условиям портфелей (договоров) следующие данные: $N_1 = 5$ тыс. чел., $N_2 = 3$ тыс. чел., 1 у.е. = 50 тыс. руб., $\alpha = 97\%$, а также следующие законы распределений групп индивидуальных исков:

$X_i^{(1)}: x_i$	0	3	9
p_i	0,94	0,05	0,01

$X_i^{(2)}: x_j$	0	4	7
p_j	0,948	0,002	0,05

Найдем числовые характеристики индивидуальных исков для каждого портфеля по отдельности и затем числовые характеристики суммарного иска с учетом обоих портфелей. Имеем:

$$\begin{aligned} EX_i^{(1)} &= 0,24 \text{ у.е.}, \quad VarX_i^{(2)} = 2,482 - 0,358^2 = 2,3538 \text{ у.е.}, \\ EX_i^{(2)} &= 0,358 \text{ у.е.}, \quad VarX_i^{(1)} = 1,26 - 0,24^2 = 1,2024 \text{ у.е.}, \\ ES &= N_1 EX_i^{(1)} + N_2 EX_i^{(2)} = 5000 \cdot 0,24 + 3000 \cdot 0,358 = 2274 \text{ у.е.}, \\ VarS &= N_1 VarX_i^{(1)} + N_2 VarX_i^{(2)} = 5000 \cdot 1,2024 + 3000 \cdot 2,3538 = 13073,51 \text{ у.е.} \end{aligned}$$

По таблице 2 с учетом $\alpha = 97\%$ определяем квантиль: $x_\alpha = 1,88$. С учетом (11) рассчитываем относительную страховую надбавку:

$$\theta = \frac{x_\alpha \sqrt{VarS}}{ES} = \frac{1,88 \cdot \sqrt{13073,51}}{2274} = 0,095.$$

Тогда по (12) для каждой группы застрахованных лиц имеем следующие реальные платы за страховку и нетто-премии:

$$p^{(1)} = EX_i^{(1)}(1 + \theta) = 0,2627 \text{ у.е.}, \text{ или } p^{(1)} \approx 13137 \text{ руб.};$$

$$p^{(2)} = EX_i^{(2)}(1 + \theta) = 0,3918 \text{ у.е.}, \text{ или } p^{(2)} \approx 19592 \text{ руб.}$$

$$p_0^{(1)} = EX_i^{(1)} = 0,24 \cdot 50000 = 12000 \text{ руб.}, \quad p_0^{(2)} = EX_i^{(2)} = 0,358 \cdot 50000 = 17900 \text{ руб.}$$

Приведем теперь компьютерную реализацию рассмотренных приближений суммарного иска. Для автоматизации проводимых актуарных расчетов разработан программный модуль в среде Visual Studio. Среда содержит удобный встроенный редактор исходного кода, кото-

рый можно дополнять наборами новых необходимых инструментов и расширять тем самым функционал среды. Среда хорошо совмещается с Windows XP и Windows 8, а также для запуска под Windows позволяет компилировать приложения на различных языках, в том числе C++, Visual Basic и C# [Фримен, 2014]. Коды программы реализованы на языке C#.

Модуль содержит две основные формы – окна. Первая из них позволяет проводить автоматизированные расчеты вероятностных параметров в случае одного портфеля договоров по приближенным методам Пуассона и Гаусса. Входными данными являются количество договоров, прописанные в страховом договоре суммы выплат при случаях смерти по возрасту или несчастному случаю, а также вероятности смерти застрахованных лиц в течение года (среднестатистические таблицы, содержащиеся в общих и специализированных таблицах продолжительности жизни).

Выходными данными являются вероятностные параметры: обеспечиваемая вероятность неразорения компании, реальная плата за страховку, нетто-премия, страховая надбавка, позволяющие гарантировать соответствующую вероятность неразорения страховой компании. Причем форма содержит отдельные кнопки для расчетов тем или иным приближенным методом, что позволяет сравнивать результаты расчетов.

Данное же окно позволяет проводить расчеты как по отдельным предъявляемым индивидуальным искам, так и по искам от всех застрахованных лиц, т. е. для суммарного иска. Таблицы квантилей для расчетов методом Пуассона или методом Гаусса заданы в коде программы.

Окно второй формы модуля рассчитано на применение модели Гаусса в случаях двух и более портфелей страховых договоров, т. е. при различных группах застрахованных лиц с разными условиями страхования и возможных выплат по полисам. Выходными данными в этой форме являются вероятностные расчеты для каждой группы в отдельности, а также для всех групп договоров в среднем.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты тестирования программного модуля по условиям представленных выше задач. Результаты тестирования совпадают с проведенными выше аналитическими решениями задач.

The screenshot shows a software window titled "Страхование жизни" (Life Insurance) with a "Расчет для групп" (Group Calculation) tab. It contains input fields for "Выплаты" (Payments) and "Вероятность (%)" (Probability (%)) for both "Клиент жив" (Client alive) and "Несчастный случай" (Accident case). The "Количество договоров" (Number of contracts) is set to 3000, and the "Сумма выплаты за 1 у.е." (Sum of payment for 1 u.e.) is 250000. Two buttons are present: "Рассчитать методом Пуассона" (Calculate by Poisson method) and "Рассчитать методом Гаусса" (Calculate by Gauss method). Below these are two columns of results for "За 1 индивидуальный иск" (For 1 individual claim) and "За суммарный иск" (For total claim). The results are as follows:

Method	Claim Type	Real payment for insurance	Net premium	Insurance surcharge
Пуассона (Poisson)	За 1 индивидуальный иск	1175	750	425
		За суммарный иск	3525000	2250000
	За 1 индивидуальный иск	1161	750	411
		За суммарный иск	3483000	2250000
Гаусса (Gauss)	За 1 индивидуальный иск	1175	750	425
		За суммарный иск	3525000	2250000
	За 1 индивидуальный иск	1161	750	411
		За суммарный иск	3483000	2250000

Рис. 1. Результаты решения задачи 1 в программном модуле приближенными методами Пуассона и Гаусса

Fig. 1. Results of solving task 1 in the software module using approximate methods Poisson and Gauss

Страхование жизни

Простой расчет | Расчет для групп

I группа договоров

	Клиент жив	По возрасту	Несчастный случай	Количество договоров	Сумма выплаты за 1 у.е.
Выплаты	0	3	9	5000	50000
Вероятность (%)	0.94	0.05	0.01		

II группа договоров

	Клиент жив	По возрасту	Несчастный случай	Количество договоров	Сумма выплаты за 1 у.е.
Выплаты	0	4	7	3000	50000
Вероятность (%)	0.94	0.002	0.05		

Квантиль: 1.88

Расчитать методом Гаусса

	I группа	II группа	Суммарный иск
Среднее значение	0,24	0,358	2274
Дисперсия	1,2024	2,3538	13073,4
Реальная стоимость	13134	19592	Относит. надбавка
Нетто-премия	12000	17900	0,0945

Рис. 2. Результаты решения задачи 2 в программном модуле приближенным методом Гаусса
 Fig. 2. Results of solution of problem 2 in software module by approximate Gauss method

Заключение

В работе рассмотрены основные понятия, связанные с теорией и практикой краткосрочного страхования жизни, проанализированы приближенные модели суммарного иска в случаях большого числа застрахованных в страховых компаниях лиц. Разобраны алгоритмические решения ключевых страховых случаев с применением приближенных моделей суммарного иска: модели Пуассона и модели Гаусса. Приведены расчеты основных параметров, таких как реальная выплата за страховку, нетто-премия, страховая надбавка, позволяющих гарантировать необходимую вероятность неразорения страховой компании, ведущей к успешному ее функционированию.

С использованием моделей приближения суммарного иска разработан программный продукт, позволяющий автоматизировать численные расчеты. Модуль рассчитан не только на один портфель договоров страхования жизни, но и на разные группы портфелей договоров (с различными условиями страхования), чаще реализуемые страховыми компаниями. Продукт разработан в среде Visual Studio с кодом на языке C#. Результаты расчетов с применением программного модуля идентичны аналогичным аналитическим расчетам. В то же время применение модуля позволяет получить результаты практически сразу же после введения входных данных из условий договоров страхования жизни и выбора приближенной модели расчета.

Практическая значимость разработанного компьютерного продукта состоит в автоматизации расчетов, и соответственно, сокращении времени принятия решений по текущим актуарным расчетным вопросам. Использование среды Visual Studio с его функциональными возможностями и встроенными кодами подтверждает универсальность ее применения для широкого класса проблем, в том числе для задач актуарной математики.

Список литературы

- Ахтямов А.М. 2005. Теория вероятностей и случайных процессов. Уфа: РИО БашГУ, 304.
- Баскаков В.Н., Рябикин В.И., Тихомиров С.Н. 2006. Страхование и актуарные расчеты. М., Экономистъ, 464.
- Голубин А.Ю. 2003. Математические модели в теории страхования: построение и оптимизация. М., Анкил, 160.
- Гохман В.С. 2008. Страхование жизни. Теория и практика актуарных расчетов. М., Госфиниздат, 140с.
- Касимов Ю.Ф. 2005. Введение в актуарную математику (страхование жизни и пенсионных схем). М., Анкил, 176.
- Сафина Г.Ф. 2013. Вероятностные задачи актуарной математики. Уфа: РИЦ БашГУ, 137 с.
- Сафина Г.Ф., Садрисламова А.Р. 2020. Применение математического пакета к приближенным моделям страхования жизни. Заметки ученого. 9: 78–82.
- Фалин Г.И. 1994. Математический анализ рисков в страховании. М., Российский юридический издательский дом «Москва», 130.
- Фалин Г.И., Фалин А.И. 2002. Актуарная математика в задачах: учебное пособие по курсу «Математические модели в страховании жизни», 1-е издание. М.: МАКС Пресс, 134.
- Фримен А. 2014. ASP.NET 4.5 с примерами на C# 5.0 для профессионалов. М.: Вильямс, 73.
- Шахов В.В. 1999. Введение в страхование. М., Финансы и статистика, 288.
- Яковлева Т.А., Шевченко О.Ю. 2003. Страхование. М., Юрист, 217.

References

- Akhtyamov A.M. 2005. Teoriya veroyatnostej i sluchajnyh processov [Theory of probabilities and random processes]. Ufa, RIO Bashgu, 304.
- Baskakov V.N., Ryabikin V.I., Tikhomirov S.N. 2006. Strahovanie i aktuarnye raschety. [Insurance and actuarial calculations]. Moscow, Economist, 464.
- Golubin A.Yu. 2003. Matematicheskie modeli v teorii strahovaniya: postroenie i optimizaciya [Mathematical models in the theory of insurance: construction and optimization.] Moscow: Ankil, 160.
- Gokhman V.S. 2008. Strahovanie zhizni. Teoriya i praktika aktuarnyh raschetov [Life insurance. Theory and practice of actuarial calculations]. Moscow: Gosfinizdat, 140.
- Kasimov Yu.F. 2005. Vvedenie v aktuarnuyu matematiku (strahovanie zhizni i pensionnyh skhem) [Introduction to actuarial mathematics (life insurance and pension schemes)]. Moscow: Ankil, 176.
- Safina G.F. 2013. Veroyatnostnye zadachi aktuarnoj matematiki [Probabilistic problems of actuarial mathematics]. Ufa: RIC Bashgu, 137.
- Safina G.F., Sadrislamova A.R. 2020. Primenenie matematicheskogo paketa k priblizhennym modelyam strahovaniya zhizni [Application of a mathematical package to approximate life insurance models]. Scientist's notes. 9: 78–82.
- Falin G.I. 1994. Matematicheskij analiz riskov v strahovanii [Mathematical analysis of risks in insurance]. Moscow: Russian Legal Publishing House «Moscow», 130.
- Falin G.I., Falin A.I. 2002. Aktuarnaya matematika v zadachah [Actuarial mathematics in problems]. Moscow: MAKS Press, 134.
- Freeman A. 2014. ASP.NET 4.5 s primerami na C# 5.0 dlya professionalov [ASP.NET 4.5 with examples in C# 5.0 for professionals]. Moscow: Williams, 73.
- Shakhov V.V. 1999. Vvedenie v strahovanie [Introduction to insurance]. Moscow: Finance and Statistics, 288.
- Yakovleva T.A., Shevchenko O.Yu. 2003. Strahovanie [Insurance]. Moscow: Yurist, 217.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Сафина Гульнара Фриловна, кандидат физико-математических наук, доцент, декан экономико-математического факультета, доцент кафедры математического моделирования и информационной безопасности, Нефтекамский филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный университет», г. Нефтекамск, Республика Башкортостан, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Gulnara F. Safina, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Economics and Mathematics, Associate Professor of the Department of Mathematical Modeling and Information Security, Neftekamsk branch of Bashkir State University, Neftekamsk, Republic of Bashkortostan, Russia



СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК: 001.51;005

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-145-152

Системно-объектный подход к системному анализу: особенности и преимущества

Михелёв В.В.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: keeper121@ya.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности системно-объектного детерминантного анализа (СОДА), представляющего собой результат применения системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» к детерминантному подходу Г.П. Мельникова. Обоснованы преимущества СОДА по сравнению с существующими методами системного анализа. Описаны возможности СОДА учитывать как материальные, так и концептуальные системы, соответствие СОДА объектно-ориентированному подходу, возможности учета общесистемных закономерностей и проведения собственно системной аналитики, обеспеченность этапов СОДА формализованными алгоритмами. Показано, что представленные особенности отличают СОДА от известных методов системного анализа. СОДА имеет преимущества при решении задач системного анализа и/или проектирования сложных систем, в первую очередь, улучшая управляемость процесса анализа.

Ключевые слова: системный анализ, системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект», системно-объектный детерминантный анализ, родовидовая классификация, стадийная классификация, партитивная классификация, объектно-ориентированный анализ и проектирование, формально-семантическая нормативная система

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 19-29-01047мк.

Для цитирования: Михелёв В.В. 2022. Системно-объектный подход к системному анализу: особенности и преимущества. Экономика. Информатика, 49(1): 145–152. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-145-152

System-object approach to system analysis: features and benefits

Vladimir V. Mikhelev

Belgorod National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: keeper121@ya.ru

Abstract. The article discusses the features of system-object determinant analysis (SODA), which is the result of applying the system-object approach "Unit-Function-Object" to the determinant approach of G.P. Melnikov. The advantages of SODA in comparison with existing methods of system analysis are substantiated. The possibilities of SODA to take into account both material and conceptual systems, the correspondence of SODA to an object-oriented approach, the possibility of taking into account general system regularities and conducting proper system analytics, the provision of SODA stages with formalized algorithms are described. It is shown that the presented features distinguish SODA from the known methods



of system analysis, providing its advantages in solving problems of system analysis and/or designing complex systems, primarily by improving the controllability of the analysis process. The SODA features have advantages over well-known methods of system analysis. It means that SODA can help to solve typical system-analysis tasks. Moreover, the feature of SODA to build generic, genetic and partial classifications adding possibility to analysis and develop structure of a system.

Keywords: system analysis, system-object approach "Unit-Function-Object", system-object determinant analysis, generic classification, stage classification, partitive classification, object-oriented analysis and design, formal-semantic normative system

Acknowledgements: the work is supported by Russian Foundation for Basic Research, project 19-29-01047mk.

For citation: Mikhelev V.V. 2022. System-object approach to system analysis: features and benefits. Information technologies, 49(1): 145–152 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-145-152

Введение

В настоящее время существует более десяти различных методов системного анализа. Основоположниками этих методов являются: Оптнер, Квейд, Черняк, Янг, Голубков, Тарасенко, Капитонов, Плотницкий и другие [Волкова, 2006]. Применение таких методов показало, что они обеспечивают логический и последовательный подход к исследованию сложных объектов и явлений. По мнению аналитиков, существующие методы системного анализа представляют собой собрание различных подходов, методик и рекомендаций, существенно различающихся между собой, хотя и имеющих общие элементы [Антонов, 2004, Волкова, 2006; Качала, 2017]. С другой стороны, «нет однозначности в понимании самого системного анализа» [Качала, 2017, с. 231]. В работе [Трофимова, Трофимов, 2015] был проведён анализ и сопоставление методов системного анализа. Было выявлено, что все эти методы имеют общую структуру, заключающуюся в начальном выборе целей и выявлении проблем; разработке модели принятия решения; выполнении оценки альтернатив; поиске и разработке алгоритма решения.

Также в [Трофимова, Трофимов, 2015] выделяются существенные количественные и качественные различия. Например, в методике Оптнера 13 этапов, в методике Янга – 10, в методике Черняка – 12 (они разделены на подэтапы и, таким образом, их 72). Различные авторы акцентируют свое внимание на разных этапах, соответственно более подробно их описывая. В частности, основное внимания уделяется следующим этапам [Оразбаев и др., 2017; Методология системного анализа]:

- разработке и исследованию альтернатив принятия решений (Оптнер, Квейд);
- выбору решения (Оптнер);
- обоснованию цели и критериев, структуризации цели (Черняк, Оптнер, Янг);
- управлению процессом реализации уже принятого решения (Оптнер, Янг);
- проектированию организации для достижения цели (Черняк).

Кроме того, все эти рекомендации и методики не используют общесистемные закономерности, само понятие «системный эффект». «Одновременно с этим все известные методы системного анализа изобилуют этапами, никакого отношения к системному анализу не имеющими» [Качала, 2017].

Представленная ситуация способствовала разработке системно-объектного детерминантного анализа (СОДА), результаты которой представлены в серии статей [Маторин, Михелёв, 2020; Маторин, Михелёв, 2021; Маторин, Михелёв 2022; Михелёв, Маторин, 2022]. Данный вариант системного анализа является результатом применения системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» к детерминантному подходу Г.П. Мельникова [Мельников, 1978].

Авторами признано, что «главной целью любого системного анализа, а также отправной точкой любого проектирования должно быть определение системообразующего фактора, т. е. зачем, для чего существует система или зачем, для чего она проектируется» [Маторин, Михелев, 2020]. При этом основоположник детерминантного анализа Г.П. Мельников подчеркивает, что «если при изучении системы удалось сначала установить ее внешнюю детерминанту (функциональный запрос надсистемы или требуемое функциональное состояние), то текущая внутренняя (фактически существующее функциональное состояние) выводится из нее на основе содержательных рассуждений об этапах формирования системы». Поэтому главной целью СОДА является установление надсистемы рассматриваемой системы и функционального запроса к ней, то есть причина ее возникновения или создания (внешней детерминанты). Это достигается путем построения родовидовой классификации (таксономии), т. е. иерархии классов (систем-классов, концептуальных систем), включающих анализируемую или проектируемую систему-явление (материальную систему). Затем строится стадийная (генетическая) классификация, описывающая процесс перехода конкретного класса (системы-класса), экземпляром которого является анализируемая или проектируемая система-явление, собственно в этот экземпляр, в эту систему-явление. Далее осуществляется процедура декомпозиции данной системы-явления (т. е. построение партитивной классификации или мерономии) с использованием формально-семантической нормативной системы (ФСНС) для объяснения существующих фактически функциональных состояний анализируемой системы или для описания возможных функциональных состояний проектируемой системы.

Особенности и преимущества системно-объектного детерминантного анализа

Рассмотрим особенности и преимущества СОДА.

1. Первой особенностью СОДА является проведение анализа двух принципиально различных видов систем, о необходимости которого писал еще Акофф, один из основоположников системного подхода и системного анализа [Ackoff, 1964].

Он имел в виду *материальные системы и концептуальные системы*, которые в работе [Шрейдер, Шаров, 1982] именуется *внутренние* и *внешние*, а в рамках системно-объектного подхода *системы-явления* и *системы-классы*. Оба вида систем соответствуют основным диалектическим принципам системного подхода: *целостности, системности, иерархичности и развития*, представленным в работе [Гвишиани, 1980]. Кроме того, в работах [Маторин, Жихарев, 2019; Маторин и др., 2019] продемонстрировано, что основные известные общесистемные закономерности выполняются как для систем-явлений, так и для систем-классов.

Таким образом, при проведении СОДА используется две иерархии: иерархия систем-классов (таксономия или родовидовая классификация) и иерархия систем-явлений (мерономия или партитивная классификация часть-целое). Это, в частности, соответствует требованиям объектно-ориентированного анализа и проектирования (ООАД) о необходимости представлять анализируемую или проектируемую систему в «канонической форме», что позволяет вскрыть ее полную архитектуру, т. е. структуру классов и структуру объектов [Буч и др., 2010].

Следовательно, СОДА соответствует объектно-ориентированному подходу в отличие от системно-структурного «ортогонального» ООАД [Буч и др., 2010]. При этом все известные методы системного анализа используют как раз системно-структурный подход. Согласованность СОДА с ООАД является его существенным преимуществом перед другими методами системного анализа.

2. Второй особенностью СОДА является соответствие процедур анализа ряду общесистемных закономерностей, что также является преимуществом данного способа анализа, обеспечивающим применение именно системной аналитики при его проведении.

Во-первых, процедуры СОДА учитывают *принцип иерархичности* «система на любом ярусе иерархии является частью системы более высокого яруса, т. е. надсистемы» [Берта-



ланфи, 1969], а также *принцип моноцентризма* («устойчивая система обладает одним центром, а если она представляет из себя сложную, цепную, то она имеет один высший, общий центр» [Богданов, 2003]).

При этом для систем-классов средствами системно-объектного подхода, в соответствии с последним принципом, в работах показано [Маторин, Соловьёва, 1996; Богданов, 2003; Маторин, Жихарев, 2019; Маторин, Михелёв, 2020], что если система-класс является видом системы-класса более высокого яруса и свойства (свойства-классы) системы-класса также являются видом свойств (свойств-классов) системы класса более высокого яруса, то данная иерархия имеет одну вершину. Упомянутое условие является известным в теории классификации требованием параметричности системной (естественной) классификации, при котором системная классификация включает свойства всех ее элементов и при этом классификация свойств объектов определяет классификацию самих объектов [Маторин, Михелёв, 2020].

Таксономия или родовидовая классификация на первом этапе СОДА как раз и строится как параметрическая, т. е. учитывающая не формальные родовидовые отношения между классами, а системные отношения между системами-классами [Маторин, Михелёв, 2021]. Это, в частности, позволяет решить проблему объектно-ориентированного подхода, состоящую в том, что «к сожалению, пока не разработаны строгие методы классификации и нет правила, позволяющего выделять классы и объекты. ... Как и во многих технических дисциплинах, выбор классов является компромиссным решением» [Буч и др., 2010]. СОДА, используя системную параметрическую классификацию, как раз и задает конкретный продуктивный метод классифицирования.

Во-вторых, процедуры СОДА учитывают *гипотезу семиотической непрерывности* («система есть образ её среды, т. е. система как элемент окружающей среды отражает некоторые существенные ее свойства» [Виноградов, Гинзбург, 1971]).

Надсистема является главной составляющей, окружающей систему, это согласуется с понятиями системно-объектного подхода и принципом иерархичности. Основным понятием здесь является *внешняя детерминанта* надсистемы, т. е. «отображение» функциональности надсистемы на функциональность системы с помощью функционального запроса на систему с определенной функцией (внешней детерминанты). Таким образом, система своим функционированием (внутренней детерминантой) «отражает» некоторые функциональные (т. е. самые существенные) свойства своей надсистемы, т. е. окружающей среды. При этом функциональный запрос надсистемы («внешняя детерминанта системы, как универсальный системообразующий фактор» [Маторин, Жихарев, 2018]) представляет собой набор связей запрашиваемой системы с другими системами данной надсистемы, т. е. узел [Маторин, Жихарев, 2018].

В-третьих, процедуры СОДА учитывают принцип *прогрессирующей механизации* («части системы в ходе ее развития специализируются или становятся фиксированными по отношению к определенным функциям или механизмам» [Берталанфи, 1969]) и принцип *актуализации функций* («объект выступает как организованный лишь в том случае, если свойства его частей (элементов) проявляются как функции сохранения и развития этого объекта» [Сетров, 1969]).

Это обеспечивается соблюдением отношения поддержания функциональной способности целого на всех этапах СОДА как при построении таксономии систем-классов [Маторин, Михелёв, 2021], так и при построении стадийной классификации этих систем, а также в процессе построения мерономии, полученной системы-явления [Маторин, Михелёв, 2022].

3. Третьей особенностью СОДА является формализованное описание всех этапов средствами дескрипционной логики, что позволило разработать алгоритмическое обеспечение процедур СОДА на каждом этапе проведения анализа.

Данная особенность также является преимуществом СОДА, так как все известные методы системного анализа представляют собой множества различных подходов, методик и рекомендаций, описанных не формальными средствами. Единообразное и объективное по-

нимание различными аналитиками подходов, выполнение методик и соблюдение рекомендаций при таком описании, естественно, не гарантируется. СОДА же представляет собой четкий и однозначно определенный набор шагов, обеспечивающих получение заданного результата. При этом в первую очередь определяются требования к результату в виде функционального запроса надсистемы (внешней детерминанты) в ходе родовидового и стадийного классифицирования. А затем определяется внутренняя детерминанта и способы ее обеспечения в результате построения партитивной классификации. В некотором смысле, в данном случае соблюдается выполнение *принципа эквивалентности* («способность системы достигать состояния, которое не зависит от времени и начальных условий, а зависит только от параметров системы» [Берталанфи, 1969]), так как процесс анализа и его результаты не зависят от человеческого фактора.

4. Четвертой особенностью СОДА является использование при построении партитивной классификации (мерономии) на завершающем этапе СОДА формально-семантической нормативной системы (ФСНС) [Маторин и др., 2020, Matorin, Mikhelev, 2021; Михелёв, Маторин, 2022].

ФСНС обеспечивает формальное описание средств моделирования (связей и структурных элементов модели). Применение ФСНС позволяет учитывать содержательные аспекты области анализа без потери строгости и точности описания исследуемого объекта. Применение ФСНС упрощает процедуру графоаналитического моделирования сложной системы, лишая разработчиков «той части «творческих» возможностей, которые ведут к разнообразию представления организационных моделей», принося, таким образом, «наименьший вред организации» [Рубцов, 2002].

5. Пятой особенностью СОДА является возможность использовать те же самые этапы, алгоритмы и ту же ФСНС как для анализа существующей системы, так и для проектирования новой.

Как для анализа существующей системы, так и для проектирования новой системы требуется определение надсистемы и ее функционального запроса к системе. При анализе существующей системы это обеспечивает понимание в общих чертах того, «с чем мы имеем дело», т. е. причины существования системы, для чего, зачем она нужна. При проектировании новой системы это обеспечивает понимание предназначения системы и требований к ней. И в первом, и во втором случае это обеспечивается построением родовидовой и стадийной классификаций по одному и тому же алгоритму. Кроме того, и для анализа, и для проектирования необходимо понимание того, каким образом функционирует или будет функционировать система. Это достигается путем построения партитивной классификации, т. е. мерономии анализируемой или проектируемой системы также по одному и тому же алгоритму.

Таким образом, еще одним преимуществом СОДА является тот факт, что при использовании СОДА нет необходимости вводить в процедуру системного анализа дополнительные этапы проектирования, не имеющие непосредственного отношения к самому системному анализу.

Заключение

Таким образом, в результате применения системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» к детерминантному анализу Г.П. Мельникова удалось в результате разработки СОДА усовершенствовать метод проведения системного анализа за счет:

- учета ряда общесистемных закономерностей, что обеспечивает использование собственно системной аналитики в процессе проведения анализа;
- определения всех этапов и шагов процесса анализа с помощью формальных алгоритмов и использования формально-семантической нормативной системы, что обеспечивает большую объективность анализа и его результатов;
- использования системной параметрической классификации, что обеспечивает согласованность СОДА с ООАД;



– исключения этапов, не имеющих отношение к системному анализу.

Все упомянутые особенности отличают СОДА от известных методов системного анализа, обеспечивая его преимущества при решении задач системного анализа и/или проектирования сложных систем, в первую очередь улучшая управляемость процесса анализа.

Кроме того, возможность СОДА определять требования к системе путем построения родовидовой и стадийной классификаций, а также определять функциональную структуру системы путем построения партитивной классификации (декомпозиции) позволяет использовать СОДА как средство не только анализа, но и проектирования, что возможно только в тех методиках системного анализа, где для этого специально выделены отдельные этапы, не имеющие отношения к самому системному анализу.

Список источников

Методология системного анализа. URL: <http://e-educ.ru/tsisa22.html> (17.02.2022).

Список литературы

- Антонов А.В. 2004. Системный анализ. М., Высш. ШК., 454 с.
- Берталанфи Л. фон. 1969. Общая теория систем – обзор проблем и результатов. В кн.: Системные исследования. Ежегодник. М., «Наука», 203 с.
- Берталанфи Л. фон. 1973. История и статус общей теории систем. Системные исследования: Ежегодник. М., Наука, 266 с.
- Богданов А.А. 2003. Тектология: Всеобщая организационная наука. Сост., предисловие и комментарии Г.Д. Гловели, послесловие В.В. Попкова. М., «Финансы».
- Буч Гради, Роберт А. Максимчук, Майкл У. Энгл, Бобби Дж. Янг, Джим Коаллен, Келли А. Хьюстон. 2010. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. СПб., М., «Вильямс», 720 с.
- Виноградов В.А., Гинзбург Е.Л. 1971. Система, её актуализация и описание. В кн.: Системные исследования. Ежегодник. М., «Наука», 280с.
- Волкова В.Н. 2006. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. М., Финансы и статистика, 848 с.
- Гвишиани Д. М. 1980. Материалистическая диалектика – философская основа системных исследований. Системные исследования: Ежегодник, 1979. М., Наука: 7–28.
- Качала В.В. 2017. Общая теория систем и системный анализ. М., Горячая линия, Телеком, 431 с.
- Маторин С.И., Соловьева Е.А. 1996. Детерминантная модель системы и системологический анализ принципов детерминизма и бесконечности мира. НТИ. Сер. 2, 8: 1–8.
- Маторин С.И., Жихарев А.Г. 2018. Учет общесистемных закономерностей при системно-объектном моделировании организационных знаний. Искусственный интеллект и принятие решений, 3: 115–126.
- Маторин С.И., Жихарев А.Г. 2019. Системный подход к классам объектов. Сборник трудов 8-й Международной конференции «Системный анализ и информационные технологии (САИТ)». М., ФИЦ ИУ РАН: 244–249.
- Маторин С. И., Жихарев А. Г., Михелев В. 2019. В. Учет общесистемных закономерностей при концептуальном моделировании понятийных знаний. Искусственный интеллект и принятие решений, 3: 12–23.
- Маторин С.И., Михелев В.В. 2020. Системно-объектный подход к детерминантному анализу сложных систем. Искусственный интеллект и принятие решений, 2: 86–93.
- Маторин С.И., Михелев В.В., Жихарев А.Г. 2020. Нормативная система системно-объектного анализа и моделирования. Экономика. Информатика. 3: 623–637.
- Маторин С.И., Михелев В.В. 2020. Анализ роли и структуры информационных (концептуальных) систем. НТИ. Серия 2. 4: 11–17.
- Маторин С.И., Михелев В.В. 2021. Системно-объектный детерминантный анализ. Построение таксономии предметной области. Искусственный интеллект и принятие решений. 1: 15–24.

- Маторин С.И., Михелев В.В. 2022. Системно-объектный детерминантный анализ. Построение стадийной классификации и мерономии предметной области. Искусственный интеллект и принятие решений. 1: 3–11.
- Михелев В.В., Маторин С.И. 2022. Системно-объектный детерминантный анализ. Методика применения формально-семантической нормативной системы для построения партитивной классификации. Искусственный интеллект и принятие решений. 2: (принято к печати).
- Мельников Г.П. 1978. Системология и языковые аспекты кибернетики. М., Сов. радио, 368 с.
- Оразбаев Б.Б., Курмангазиева Л.Т., Коданова Ш.К. 2017. Теория и методы системного анализа. М., Издательский дом Академии Естествознания, 248 с.
- Рубцов С. 2002. Какой CASE-инструмент нанесет наименьший вред организации? Директор ИС. 2002, №1 // <http://www.osp.ru/cio/2002/01/008.htm>
- Сертов М.И. 1969. Степень и высота организации систем. В кн.: Системные исследования. Ежегодник. М., «Наука», 159 с.
- Трофимова М.С., Трофимов С.М. 2015. Обзор методов и методик системного анализа применительно к управлению качеством предприятия. Вестник ПНИПУ. Электро-техника, информационные технологии, системы управления., 14: 74–96
- Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. 1982. Системы и модели. М., Радио и связь, 152 с.
- Ackoff R.L. 1964. General system theory and systems research: Contrasting conceptions of system science. In Proceedings of the Second Systems Symposium at Case Institute of Technology. New York, London: Wiley: 51-60.
- Matorin S. I., Mikhelev V. V. 2021. Formal-semantic normative system for graphic-analytical modelling. Journal of Physics: Conference Series 2060 (2021) 012020.

References

- Antonov A.V. 2004. Sistemnyj analiz [System analysis]. Moscow, Higher. ShK., 454 p.
- Bertalanffy L. background. 1969. General systems theory – a survey of problems and results. In: System Research. Yearbook. Moscow, Nauka, 1969, 203 p. (in Russian).
- Bertalanffy L. von. 1973. History and status of general systems theory. System Research: Yearbook. Moscow, Science, 266. (in Russian).
- Bogdanov A.A. 2003. Tectology: A General Organizational Science. Compiled, foreword and comments by G.D. Gloveli, afterword by V.V. Popkov. M., "Finance". (in Russian).
- Butch Gradi, Robert A. Maksimchuk, Michael W. Engle, Bobby J. Young, Jim Conallen, Kelly A. Houston. 2010. Object Oriented Analysis and Design with Sample Applications. SPb., M., "Williams", 720 p. (in Russian).
- Vinogradov V.A., Ginzburg E.L. 1971. Sistema, ejo aktualizacija i opisanie [System, its actualization and description]. In: System Research. Yearbook. Moscow, Nauka, 280 p.
- Volkova V.N. 2006. Systems. Teorija sistem i sistemnyj analiz v upravlenii organizacijami [Theory and System Analysis in Organizational Management: Handbook: Proc. Allowance]. Ed. V.N. Volkova and A.A. Emelyanov. Moscow, Finance and statistics, 848 p.
- Gvishiani D. M. 1980. Materialisticheskaja dialektika – filosofskaja osnova sistemnyh issledovanij [Materialistic dialectics – the philosophical basis of system research]. System Research: Yearbook, 1979. Moscow, Nauka: 7–28.
- Kachala V.V. 2017. Obshhaja teorija sistem i sistemnyj analiz [General systems theory and systems analysis]. Moscow., Hot line, Telecom, 431 p.
- Matorin S.I., Solovieva E.A. 1996. Determinantnaja model' sistemy i sistemologicheskij analiz principov determinizma i beskonechnosti mira [Determinant model of the system and systemological analysis of the principles of determinism and infinity of the world]. NTI. Ser. 2, 8: 1–8.
- Matorin S.I., Zhikharev A.G. 2018. Uchet obshhesistemnyh zakonomernostej pri sistemno-ob#ektnom modelirovanii organizacionnyh znanij [Accounting for system-wide patterns in system-object modeling of organizational knowledge]. Artificial Intelligence and Decision Making, 3: 115–126.
- Matorin S.I., Zhikharev A.G. 2019. Sistemnyj podhod k klassam ob'ektov [A systematic approach to object classes]. Proceedings of the 8th International Conference "System Analysis and Information Technologies (SAIT)". M., FRC IU RAS: 244–249.
- Matorin S. I., Zhikharev A. G., Mikhelev V. 2019. V. Uchet obshhesistemnyh zakonomernostej pri konceptual'nom modelirovanii ponjatijnyh znanij [Accounting for system-wide regularities in the conceptual modeling of conceptual knowledge]. Artificial Intelligence and Decision Making, 3:12–23.



- Matorin S.I., Mikhelev V.V. 2020. Sistemno-ob'ektnyj podhod k determinantnomu analizu slozhnyh sistem [System-object approach to determinant analysis of complex systems]. Artificial Intelligence and Decision Making, 2: 86–93.
- Matorin S. I., Mikhelev V. V., Zhikharev A. G. 2020. Normativnaja sistema sistemno-ob'ektnogo analiza i modelirovanija [Normative system of system-object analysis and modeling]. Economy. Informatics. 3: 623–637.
- Matorin S.I., Mikhelev V.V. 2020. Analiz roli i strukturi informacionnih (konceptualnih) sistem [Analysis of role and structure of informational (conceptual) systems] NTI. Ser. 2, 4: 11–17.
- Matorin S.I., Mikhelev V.V. 2021. Sistemno-ob'ektnyj determinantnyj analiz. Postroenie taksonomii predmetnoj oblasti [System-Object Determinant Analysis. Building a taxonomy of the subject area]. Artificial intelligence and decision making. 1:15–24.
- Matorin S.I., Mikhelev V.V. 2022. Sistemno-ob'ektnyj determinantnyj analiz. Metodika primeneniya formalno-semanticheskoy normativnoy sistemi dlya postroyeniya partitivnoy klassifikacii [System-Object Determinant Analysis. Methodic of using formal-semantic normative system for building stage classification]. Artificial intelligence and decision making. 2 (applied).
- Matorin S.I., Mikhelev V.V. 2022. Sistemno-ob'ektnyj determinantnyj analiz. Postroenie stadial'noj klassifikacii i meronomii predmetnoj oblasti [System-Object Determinant Analysis. Construction of a stage classification and meronymy of the subject area]. Artificial intelligence and decision making. 1:3–11.
- Melnikov G.P. 1978. Sistemologija i jazykovye aspekty kibernetiki [Systemology and linguistic aspects of cybernetics]. Moscow, Sov. radio, 368 p.
- Orazbaev B.B., Kurmangazieva L.T., Kodanova Sh.K. 2017. Teorija i metody sistemnogo analiza [Theory and methods of system analysis]. Moscow, Publishing House of the Academy of Natural Sciences, 248 p.
- Rubtsov S. 2002. Kakoj CASE-instrument naneset naimen'shij vred organizacii? [Which CASE tool will cause the least harm to the organization]? IS Director. 2002, No. 1, <http://www.osp.ru/cio/2002/01/008.htm>
- Setrov M.I. 1969. Stepen' i vysota organizacii sistem [Degree and height of systems organization]. In: System Research. Yearbook. Moscow, Nauka, 159 p. (in Russian)
- Trofimova M.S., Trofimov S.M. 2015. Obzor metodov i metodik sistemnogo analiza primenitel'no k upravleniju kachestvom predpriyatija [Review of methods and techniques of system analysis in relation to enterprise quality management]. Bulletin of PNRPU. Electrical engineering, information technology, control systems., 14: 74–96
- Shreider Yu.A., Sharov A.A. 1982. Sistemy i modeli [Systems and Models]. Moscow, Radio and communication, 152 p.
- Ackoff R.L. 1964. General system theory and systems research: Contrasting conceptions of system science. In Proceedings of the Second Systems Symposium at Case Institute of Technology. New York, London: Wiley: 51–60.
- Matorin S. I., Mikhelev V. V. 2021. Formal-semantic normative system for graphic-analytical modeling. Journal of Physics: Conference Series 2060 (2021) 012020.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Михелёв Владимир Владимирович, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий института инженерных и цифровых технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir V. Mikhelev, Postgraduate Student, Department of Applied Informatics and Information Technology, Institute of Engineering and Digital Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia



УДК 004.58

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-153-158

Оценка эффективности работы ИТ-отдела

Грачева Е.А., Поначугин А.В.

Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина
(Мининский университет), Россия, 603002, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 1,
E-mail: veta.gracheva@gmail.com, sasha3@bk.ru

Аннотация. В современном мире информационные технологии стремительно развиваются, оказывая влияние на самые различные сферы жизнедеятельности человека. Можно утверждать, что информационные технологии является ведущей сферой для развития любого бизнеса. В наше время уже нельзя представить какую-либо компанию без ИТ-отдела. При возникновении проблем, связанных с компьютерной системой, остановится работа большинства подразделений, поэтому очень важно иметь квалифицированных специалистов, которые быстро и без урона для деятельности компании решат данные проблемы и позволят сотрудникам продолжить рабочий процесс. С появлением в компании ИТ-отдела перед руководством появляется задача контроля и оценки работы специалистов. В статье рассмотрены проблемы, способы и критерии оценки деятельности ИТ-отдела. При написании статьи авторами использовались методы: теоретические (анализ отечественной и зарубежной литературы, обобщение, сравнение). Теоретическая значимость работы заключается в выявлении подходов к оценке эффективности работы ИТ-отдела и определении показателей разносторонней оценки.

Ключевые слова: информационные технологии, ИТ-отдел, компания, оценка работы

Для цитирования: Грачева Е.А., Поначугин А.В. 2022. Оценка эффективности работы ИТ-отдела. Экономика. Информатика, 49(1): 153–158. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-153-158

Evaluation of the effectiveness of the IT department

Elizaveta A. Gracheva, Alexander V. Ponachugin

Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University (Minin University),
1 Ulyanova St, Nizhny Novgorod, 603002, Russia
E-mail: veta.gracheva@gmail.com, sasha3@bk.ru

Abstract: In the modern world, information technologies are rapidly developing, influencing various spheres of human life. It can be argued that information technology is the leading area for the development of any business. In our time, it is no longer possible to imagine any company, regardless of the form of organization, without an IT department. If problems arise related to the computer system, the work of most departments will stop, therefore it is very important to have qualified specialists who will quickly and without damage to the company's activities solve these problems and allow employees to continue the work process. With the advent of the IT department in the company, the management faces the task of monitoring and evaluating the work of specialists in this department. The article deals with the problems, methods and criteria for evaluating the activities of the IT department. When writing the article, the authors used the following methods: theoretical (analysis of domestic and foreign literature, generalization, comparison). The theoretical significance of the work lies in identifying approaches to assessing the effectiveness of the IT department and determining indicators for a comprehensive assessment.

Keywords: information technology, IT-department, company, job evaluation

For citation: Gracheva E.A., Ponachugin A.V. 2022. Evaluation of the effectiveness of the IT department. Information technologies, 49(1): 153–158 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-153-158



Введение

Информационные технологии всё больше развиваются с каждым годом и всё чаще встречаются в разных сферах. ИТ не обошли стороной и бизнес, его зависимость от используемых информационных технологий стремительно растет. Можно сказать, что информационные технологии двигают бизнес вперед [Khlap, 2022].

Наличие в компании ИТ-отдела дает преимущество среди конкурентов, так как работники данного подразделения выполняют много важных задач. Наличие ИТ-отдела упрощает и помогает автоматизировать работу других отделов [Желена, 2020]. Но для директора, который далек от сферы ИТ, оценка работы отдела информационных технологий компании часто становится большой проблемой.

Объекты и методы исследования

Для решения многих проблем в компании внедряются информационные технологии, которые требуют специальных знаний и постоянного внимания. Но многие руководители недооценивают работу «айтишников», так как не видят напрямую, чем занимаются работники данного отдела. Далее рассмотрены задачи, выполняемые отделом ИТ. Независимо от сферы деятельности компании её ИТ-отдел обычно выполняет две группы задач. Во-первых, учитывая цели предприятия, совершенствует уже имеющуюся ИТ-инфраструктуру. Во-вторых, поддерживает работоспособность этой инфраструктуры, обеспечивая сервисное обслуживание [Волков, 2001]. Если говорить о совершенствовании инфраструктуры, то можно отметить несколько способов выполнения данной задачи:

1. Поиск актуальных решений.

При появлении нового класса задач в управлении предприятием, осуществляется поиск новых подходов для их решения с помощью ИТ. Крайне важно найти ИТ-конфигурацию для эффективной работы технологий, создать прочный ИТ-фундамент для дальнейшего развития бизнеса. Необходимо поставить цель и решить какие технологии необходимо использовать для её достижения.

2. ИТ-проекты.

Технологический прорыв дает больше возможностей для разработки новых стратегий. Проектная деятельность является одной из главных составляющих любого бизнеса. Внедрение новых ИТ-решений, повышение надежности инфраструктуры, переход на другие ИТ-платформы, всё это может сделать большой вклад и положительно повлиять на реализацию и эффективность бизнес-проектов компании [Аншина, 2017]. ИТ-отдел берет ответственность за грамотную реализацию ИТ-проектов, чтобы все бизнес-задачи были решены корректно.

3. Развитие.

Разработка и внедрение приложений, включая оценку рисков и управление проектами. Работники ИТ-отдела продумывают варианты решения задач для автоматизации конкретных моментов бизнес-процессов. Другими словами, важна погруженность ИТ-отдела в проблемы и задачи бизнеса. Данные действия способствуют большей эффективности реализуемой работы и повышению надежности ИТ-решений. Различные механизмы повышения производительности труда представляют новые возможности для офисных сотрудников.

Для поддержания имиджа компании, для открытия дорог на новые рынки, а также для удобства распространения информации важно иметь веб-сайт. Чтобы успешно создать сайт, ИТ-команда взаимодействует с другими отделами, для создания общего видения функционала и дизайна сайта. После его создания специалистам ИТ-отдела предстоит периодически контролировать корректность его работы.

Теперь рассмотрим, как ИТ-специалисты поддерживают работоспособность данной инфраструктуры и в чем заключается сервисное обслуживание.

- установка нового ПО;

- участие в выборе и приобретении оборудования;
- своевременное устранение проблем с сетью;
- настройка и подготовка к работе нового оборудования;
- обучение новых сотрудников правилам пользования техническими устройствами;
- контроль за исправностью офисных устройств;
- настройка средств резервного копирования;
- защита от утечки данных;
- ремонт оборудования [Горемыкин, 2013].

Изучив обязанности работников ИТ-отдела, гендиректор задается вопросами: «Как оценить работу данного отдела?», «На какие критерии смотреть?», «Как провести анализ?». Работу ИТ-отдела оценить и правда сложно и ниже рассмотрим, почему:

1) Профессиональный сленг.

Если рассмотреть профессионала из любой отрасли, можно заметить, что во время выполнения своей работы он будет использовать специальную, понятную ему и другим членам отдела, лексику. Но именно профессиональные слова «айтишников» вызывают большее затруднение в понимании у остальных. Специфика языка и труднопонимаемые слова оставляют сотрудников других отделов в непонимании сути проблемы или наоборот её решения при общении с сотрудником ИТ-отдела. Поэтому стоит заранее обсудить форму изложения речи при общении [Петров, 2003].

2) Отсутствие обратной связи.

Эффективность работы ИТ-отдела определяется не только количеством неполадок, неисправностей и жалоб, но и количеством положительных отзывов и быстрого, качественного решения проблем. К сожалению, сотрудники других отделов, обращаясь в ИТ-отдел, при решении проблем не документируют положительные отзывы и складывается ощущение, что отдел работает не в полную силу. Правда, эту проблему можно решить, заведя журнал, в котором будут графы «Проблема», «Название отдела», «Время решения данной проблемы работником ИТ-отдела», «Отзыв». Далее рассмотрим, как можно проследить и оценить работу ИТ-отдела.

Во-первых, стоит прописать обязанности сотрудников данного отдела в документ, чтобы избежать недопонимания, прописать задачи и обозначить временные рамки, а также фиксировать конечные результаты, определять увеличили ли ИТ-проекты эффективность реализации предложенной бизнес-идеи [Земсков, Худяков, 2020].

Ещё одна из задач ИТ-специалиста состоит в подключении нового работника к сети. «Айтишник» должен объяснить правила пользования и помочь разобраться в работе с оборудованием. Данная задача грамотным специалистом выполняется достаточно быстро и если на её выполнение у работника уходит несколько дней, а новый сотрудник до сих пор не смог до конца понять, как использовать оборудование, то к ИТ-специалисту уже могут появиться вопросы и замечания со стороны руководства.

Обслуживание оборудования. Данная задача так же стоит перед работниками ИТ-отдела. Специалист должен следить и своевременно проверять корректность работы и исправность технических средств [Информационные системы и технологии управления, 2020]. Проконтролировать данный момент достаточно просто, стоит обратить внимание на жалобы других сотрудников, а также проследить своевременно ли выполнена работа.

В связи со сложившейся ситуацией в мире (эпидемия Covid-19) большое количество конференций теперь проводятся дистанционно, поэтому очень важно произвести подготовку к видео- и веб-конференции. Вопрос выбора веб-сервисов для проведения конференций в дистанционном формате остается открытым и является индивидуальным для каждого [Kislyakov et al., 2020; Ponachugin, 2021].

Большое количество документов для связи с партнерами пересылается через электронную почту, так же важно, чтобы работа в данной среде производилась корректно.



Настройка резервного копирования. Данный момент очень важен для любой компании, так как при резервном копировании можно не переживать о сохранности данных. ИТ-отдел должен следить за наличием свежей копии данных. Проверить выполнение данной работы можно, специально удалив какой-либо документ и обратившись с данной проблемой к специалисту. Если резервное копирование данных производится регулярно, то сотрудник с легкостью найдет и вернет вам «утерянный» документ [Козырев, 2020].

Также обязательной задачей ИТ-отдела является установка и тестирование программных продуктов. Контроль за выполнением данной задачи можно поручить начальнику каждого из подразделений.

Мониторинг системы и контроль работы аппаратных средств. Специалист должен следить за правильностью работы локальной сети, регистрационных файлов, офисных программ, электронной почты. Он должен своевременно диагностировать проблемы, сбои в системе и устранить их. Отследить это можно также с помощью журнала заявок.

Защита системы. ИТ-специалист должен провести всем сотрудникам инструктаж по безопасной работе в сети и следить за выполнением правил, разработать стратегию защиты от вирусов, предотвратить возможность проникновения в систему посторонних пользователей, своевременно обновлять антивирусное ПО [Информационные системы управления производственной компанией, 2019; Михайлов, 2021].

Важно отметить, что ни один человек не может быть специалистом во всех областях ИТ, поэтому очень важно иметь именно целый штат сотрудников в сфере ИТ. Каждый сотрудник будет выполнять задачи своей отрасли, но также работники должны взаимодействовать между собой. ИТ-отдел должен быть системой, а не просто набором персонала из разных областей. Рассмотрим стандартный список должностей ИТ-отдела:

– Системный администратор – отвечает за бесперебойную работу сети, за работоспособность компьютеров и программ [Ядов, 2007].

– Системный аналитик – изучая бизнес, ищет способы улучшения эффективности работы с помощью информационных систем.

– Веб-мастер – специалист, который занимается разработкой веб-сайтов и веб-приложений.

– Специалист по поддержке пользователей – проводит инструктажи по правилам пользования офисной техникой и программным обеспечением [Best IT Help Desk Software and Tools, 2019].

Набор персонала в ИТ-отдел зависит от преследуемых целей конкретной компании. При организации ИТ-отдела необходимо:

- сформировать штатную структуру;
- провести собеседование для выявления уровня квалификации работников;
- распределить обязанности;
- выбрать модели работы;
- разработать систему мотивации.

Всё это нужно учитывать при создании ИТ-структуры компании.

Результаты и их обсуждение

Работа ИТ-отдела по-настоящему сложна и разнообразна. Информационные технологии и правда играют очень большую роль в развитии бизнеса. Сталкиваясь с проблемой оценки работы ИТ-отдела, руководители часто оказываются в ступоре. Данная задача кажется очень сложной для выполнения, но оказалось, что это не так. Главное обращать внимание на основные критерии работы ИТ-отдела:

- сроки реализации ИТ-проектов;
- сроки устранения системных проблем;
- качество ИТ-проектов;

– количество жалоб сотрудников других отделов.

Рассмотрев способы оценки каждого из критериев оценки ИТ-отдела, можно сделать вывод, что это под силу директору компании.

Заключение

Информационные технологии бесконечно развиваются и вместе с этим помогают развиваться бизнесу. В наше время большинство компаний, от маленьких до больших, нуждаются в информационных технологиях для того, чтобы выдержать конкуренцию. Поэтому очень важно следить за работой ИТ-отдела. Создание такой отрасли в компании как ИТ является сложной задачей, так как нужно продумать много моментов для правильного функционирования системы, которая будет приносить ощутимую пользу бизнесу. Важно грамотно создать структуру отдела ИТ, чтобы в дальнейшем он работал эффективно и были затронуты все имеющиеся проблемы компании. Контроль данного отдела также кажется тяжелой для реализации задачей. Выше были рассмотрены сложности анализа, критерии и способы оценки, приведены примеры решения некоторых проблем. Оказалось, что всё же руководителю, который не имеет широкого понятия и знаний в информационных технологиях, представляется возможность осуществлять контроль за таким важным и полезным для компании отделом, как ИТ-служба, придерживаясь некоторых правил.

Список литературы

- Аншина М. 2017. Проекты ИТ. Как превратить возможности в результаты. М., Положевец и партнёры, 302 с.
- Горемыкин В.А. 2013. Планирование на предприятии. М., Издательство Юрайт, 696 с.
- Земсков В.В., Худяков Д.С. 2020. Оценка рисков и эффективность ИТ-подразделения организации РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 1: 144–148.
- Информационные системы и технологии управления. 2020. ВЗФЭИ; Под ред. Г.А. Титоренко. 3-е изд. М., ЮНИТИ, 591 с.
- Информационные системы управления производственной компанией. 2019. Под редакцией Н. Н. Лычкиной. М., Издательство Юрайт, 249 с.
- Информационные технологии (для экономиста). 2001. Под общ. ред. А.К. Волкова. М., ИНФРА-М, 310 с.
- Информационные технологии в бизнесе. 2002. Под ред. М. Желены. СПб., Питер, 1120 с.
- Кисляков П.А., Меерсон А.-Л.С., Силаева О.А., Дмитриева Е.Е. 2020. Восприятие молодежью социокультурных угроз цифровой трансформации общества. Вестник Мининского университета. 8(4): 8. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/1152/809> (дата обращения: 06.02.2022) (in Russia).
- Козырев А.А. 2000. Информационные технологии в экономике и управлении. СПб., Изд-во Михайлова В.А., 360 с.
- Михайлов А.Г. 2021. План проектов. Москва. URL: <https://www.info-strategy.ru/wp-content/uploads/projects-strategic-planning-book.pdf> (дата обращения: 06.02.2022).
- Петров В.Н. 2003. Информационные системы. СПб., Питер, 688 с.
- Поначугин А.В. 2021. Выбор веб-сервиса для проведения потоковых лекций у студентов инженерных специальностей. Вестник Мининского университета. 9(3): 7. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/1255/850> (дата обращения: 06.02.2022)
- Хлап А.А. 2022. Техногенный идеал в цифровой культуре: построение модели исследования. Вестник Мининского университета. 10(1): 14. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/1336/879> (дата обращения: 06.02.2022)
- Ядов Г.Б. 2007. Информация и общество. Вокруг света. № 2. URL: https://booksafe.net/book/vokrug_sveta-zhurnal_vokrug_sveta_02_za_2007_god-247127.html (дата обращения: 06.02.2022).
- Best IT Help Desk Software and Tools. STEPHEN COOPER. 2019. URL: <https://www.comparitech.com/net-admin/it-help-desk-software-tools/> (дата обращения: 06.02.2022).



References

- Anshina M. 2017. Proekty IT. Kak prevratit' vozmozhnosti v rezul'taty [What are the possible outcomes]. Moskva: Polozhevec i partnyory, 302 p.
- Goremykin V.A. 2013. Planirovanie na predpriyatii [Planning at the enterprise]. 8-e izd., pererab. i dop. M., Izdatel'stvo YUrajt, 696 p.
- Zemskov V.V., Hudyakov D.S. 2020. Ocenka riskov i effektivnost' IT-podrazdeleniya organizacii RISK: Resursy, Informaciya, Snabzhenie, Konkurenciya [Risk assessment and efficiency of the organization's IT department RISK: Resources, Information, Procurement, Competition]. 1: 144–148.
- Informacionnye sistemy i tekhnologii upravleniya [Information systems and management technologies] 2020. VZFEI; Pod red. G.A.Titorenko. 3-e izd. M., YUNITI, 591 p.
- Informacionnye tekhnologii (dlya ekonomista) [Information technology (for an economist): Proc. Benefit.]. 2001. Pod obshch. red. A.K. Volkova. M., INFRA-M. 310 p.
- Informacionnye tekhnologii (dlya ekonomista) [Information technology (for an economist): Proc. Benefit.]. 2001. Pod obshch. red. A.K. Volkova. M., INFRA-M, 310 p.
- Informacionnye tekhnologii v biznese [Information technology in business]. 2002. Pod red. M. ZHeleny. SPb., Piter, 1120 p.
- Kislyakov P.A., Meyerson I.-L.S., Silaeva O.A., Dmitritva E.E. 2020. Young people's perception of sociocultural threats to the digital transformation of society. Vestnik of Minin University. 8(4): 8. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/1152/809> (accessed: 06.02.2022) (in Russian).
- Kozyrev A.A. Informacionnye tekhnologii v ekonomike i upravlenii [Information technologies in economics and management]. 2000. SPb., Izd-vo Mihajlova V.A., 360 p.
- Mihajlov A.G. 2021. Plan proektov [Plan of projects]. Moskva. URL: <https://www.info-strategy.ru/wp-content/uploads/projects-strategic-planning-book.pdf> (accessed: 06.02.2022).
- Petrov V.N. 2003. Informacionnye sistemy [Information systems]. SPb., Piter. 688 p.
- Ponachugin A.V. 2021. Choosing a web service for conducting streaming lectures for engineering students. Vestnik of Minin University. 9(3): 7. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/1255/850> (accessed: 06.02.2022) (in Russian).
- Khlap A.A. 2022. Technogenic ideal in digital culture: building a research model. Vestnik of Minin University. 10(1): 14. URL: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/1336/879> (accessed: 06.02.2022) (in Russian).
- YAdov G.B. 2007. Informaciya i obshchestvo [Information and society]. Vokrug sveta. № 2. URL: https://bookscafe.net/book/vokrug_sveta-zhurnal_vokrug_sveta_02_za_2007_god-247127.html (accessed: 06.02.2022).
- Best IT Help Desk Software and Tools. STEPHEN COOPER. 2019. URL: <https://www.comparitech.com/net-admin/it-help-desk-software-tools/> (accessed: 06.02.2022).

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Грачева Елизавета Александровна, студент, выпускающая кафедра прикладной информатики и информационных технологий в образовании, Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина, г. Нижний Новгород, Россия

Поначугин Александр Викторович, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий в образовании, Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина, г. Нижний Новгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elizaveta A. Gracheva, Student, Graduating Department of Applied Informatics and Information Technologies in Education, Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, Russia

Alexander V. Ponachugin, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies in Education, Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, Russia



УДК 004.89

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-159-168

Технология интеллектуального распознавания сельскохозяйственных культур нейронной сетью по мультиспектральным многовременным данным дистанционного зондирования Земли

Асадуллаев Р.Г., Кузьменко Н.И.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: asadullaev@bsu.edu.ru, 1198645@bsu.edu.ru

Аннотация. В данной работе представлена технология распознавания сельскохозяйственных культур по данным дистанционного зондирования Земли. Апробация технологии была проведена на сельскохозяйственных землях Белгородской области Российской Федерации. В соответствии со статистикой севооборота были выбраны следующие сельскохозяйственные культуры: пшеница, ячмень, кукуруза, подсолнечник, соя, сахарная свекла, многолетние травы и пары. В качестве входных данных были использованы мультиспектральные снимки со спутника Sentinel-2 уровня обработки MSI L2A, а именно каналы RGB-спектра, SWIR и NIR. Из полученных данных были составлены временные ряды в вегетационные периоды за 2018–2020 годы. Разработан алгоритм устранения пропусков данных в дни высокой облачности для повышения качества распознавания. В качестве модели классификатора была использована сверточно-рекуррентная нейронная сеть. Разработанная модель на тестовых данных показала общую меру точности f -мера 88,7%. Предложенная архитектура нейронной сети также применима в других регионах со схожей посевной структурой, фенологическими показателями культур и схожими климатическими условиями.

Ключевые слова: нейронная сеть, CNN, LSTM, классификация сельскохозяйственных культур, Sentinel-2

Для цитирования: Асадуллаев Р.Г., Кузьменко Н.И. 2022. Технология интеллектуального распознавания сельскохозяйственных культур нейронной сетью по мультиспектральным многовременным данным дистанционного зондирования Земли. Экономика. Информатика, 49(1): 159–168. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-159-168

Technology of intelligent agricultural crops recognition by neural network based on multispectral multitemporal Earth remote sensing data

Rustam G. Asadullaev, Nikolay I. Kuzmenko

Belgorod National Research University,
85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: asadullaev@bsu.edu.ru, 1198645@bsu.edu.ru

Abstract. This article presents a technology for recognition of crops based on Earth remote sensing data. Approbation of the technology was carried out on agricultural lands of the Belgorod region, Russian Federation. According to the crop rotation statistics, the following crops were selected: wheat, barley, corn, sunflower, soybean, sugar beet, perennial grasses and fallow lands. As input data, multispectral images from the Sentinel-2 satellite of the MSI L2A processing level were used, namely the channels of the RGB, SWIR and NIR bands. From the data obtained, time series were compiled in the growing seasons for 2018–2020. An algorithm has been developed to eliminate data gaps on days of high cloudiness to improve the quality of recognition. A convolutional-recurrent neural network was used as a classifier model. The developed model



on test data showed an overall measure of accuracy F-score of 88.7%. The proposed architecture of the neural network is also applicable in other regions with a similar sowing structure, phenological phases of crops and similar climatic conditions.

Keywords: neural net, CNN, LSTM, agricultural crops classification, Sentinel-2

For citation: Asadullaev R.G., Kuzmenko N.I. 2022. Technology of intelligent agricultural crops recognition by neural network based on multispectral multitemporal Earth remote sensing data. Economics. Information technologies, 49(1): 159–168 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-159-168

Введение

Данные дистанционного зондирования Земли в видимом и инфракрасном диапазонах сегодня применяются для широкого спектра задач, таких как классификация земельного и растительного покрова, поиск незаконных построек, мониторинг природных явлений, точное земледелие, контроль лесного хозяйства, создание тематических карт. Одной из таких задач является задача классификации сельскохозяйственных культур.

Актуальность задачи заключается в необходимости получения достоверной информации о посевах сельскохозяйственных культур. Данная информация может быть полезна как контролирующим органам, так и менеджменту крупных аграрных предприятий. Контролирующие органы могут отслеживать используемость полей, соответствие посаженных и заявленных культур на полях, выявлять ненадлежащее использование земель. Эта задача важна для обеспечения продовольственной безопасности регионов. Аграрные предприятия могут осуществлять мониторинг посевных площадей на местах, не выезжая непосредственно на поля.

На сегодняшний день для контроля сельскохозяйственной деятельности используется система отчетной документации, составляемая территориальными надзорными органами. Требуется технология, позволяющая в автоматическом режиме провести сверку всех полей региона на соответствие выращиваемой культуры и заявленной в отчете. Такая технология позволит сократить время обследования, повысить точность и независимость контроля сельскохозяйственных предприятий.

В настоящее время имеется множество исследований на тему распознавания сельскохозяйственных культур. В большинстве работ используется распознавание с помощью алгоритмов машинного обучения [Kamilaris, 2021]. В основном классификация осуществляется с применением методов случайных лесов, нейронных сетей, машин опорных векторов [Liakos, 2018; Neetu and Ray, 2019]. Общим ограничением методов машинного обучения для решения задачи классификации сельскохозяйственных культур является область интереса, для которой производится классификация.

Объекты и методы исследования

Входными данными для разрабатываемой технологии являются геопривязанные контуры сельскохозяйственных полей. В связи с этим возможно реализовать классификацию по группам пикселей вместо попиксельной классификации. В рамках одного контура поля может выращиваться несколько культур. Необходимо распознать все выращиваемые культуры в рамках одного контура. При подготовке набора обучающих данных для полей с несколькими культурами была произведена ручная переразметка контуров с разделением полей на части. К моменту публикации статьи алгоритм автоматического разделения внутри контура поля на несколько культур находится в стадии разработки и будет опубликован в последующих работах.

Задача осложнена тем фактом, что не все поля имеют актуальную разметку. Из-за этого помимо сельскохозяйственных культур в контурах полей могут располагаться строения, жилые массивы, леса или неиспользуемые земли. В связи с этим, обучающие и тестовые данные были

предварительно очищены от таких полей путем визуальной проверки соответствия поля сельскохозяйственному использованию по спутниковым снимкам.

Каждая сельскохозяйственная культура характеризуется собственным набором параметров: цикл роста, вегетационный период, сорт и условия произрастания (осадки, увлажнение, состояние почвы, количество солнечного света и т. п.). Некоторые исследователи прибегают к анализу вегетационного периода (например, индекса вегетации NDVI) для решения задачи классификации. Данный подход позволяет хорошо отделить озимые культуры от яровых. Однако индекс вегетации у некоторых культур является довольно схожим и не отражает индивидуальных особенностей каждой культуры [Чурсин, 2018]. Поэтому требуется технология, позволяющая делать заключение на основании множества признаков с возможностью формирования оригинальных знаний, не доступных эксперту. В настоящем исследовании в основу такой технологии будет взята нейронная сеть глубокого обучения.

Для решения задачи классификации был составлен план, состоящий из следующих шагов:

- Поиск данных для разметки обучающей и тестовой выборок.
- Выбор источника, скачивание и подготовка спутниковых данных.
- Подбор архитектуры и обучение нейронной сети.
- Тестирование модели и анализ результатов.

Материалы

Данные для разметки обучающей и тестовой выборок

В качестве разметки была использована географическая структура данных в формате GeoJSON. Данная структура полей была получена для Волоконовского и Красногвардейского районов Белгородской области Российской Федерации за 2018–2020 года. Из разметки были убраны необработываемые поля и поля с теми культурами, по которым недостаточно данных для обучения. После данных операций множество полей было разделено на обучающую и тестовую выборки в соотношении 90 % к 10 % соответственно. Всего было представлено 1018 полей с атрибутивной информацией по культурам за три года.

Для классификации было представлено 7 видов культур (многолетние травы, ячмень, кукуруза, сахарная свекла, соя, подсолнечник, пшеница) и пар (поле, на котором в данном году не выращивается культура). В итоге была сформирована обучающая выборка из 2785 примеров (рис. 1). Под обучающим примером мы подразумеваем поле в целом.

Выбор источника, скачивание и подготовка спутниковых данных

Качество методов классификации в задачах дистанционного зондирования Земли зависит от предварительной обработки данных (трансформирование пространственной, спектральной и временной информации в данные для классификационной модели). При выборе источника спутниковых данных необходимо учитывать следующие факторы:

- Пространственное разрешение спутника показывает, насколько детализированное изображение по каждому из пикселей. Например, если пространственное разрешение спутника 10 метров, значит каждый пиксель представляет информацию с области 10x10 метров.
- Спектральное разрешение спутника показывает, насколько большой диапазон спектральных характеристик захватывает сенсор в определенном канале. Как правило, датчики с высоким разрешением имеют более узкие спектральные полосы.
- Частота съемки во времени показывает, с каким временным промежутком спутник проводит съемку поверхности.
- Радиометрическое разрешение показывает, насколько сенсор чувствителен к малому изменению показаний в электромагнитных волнах. Представляет собой количество информации в каждом из пикселей. Выражается в битах [Song, 2021].

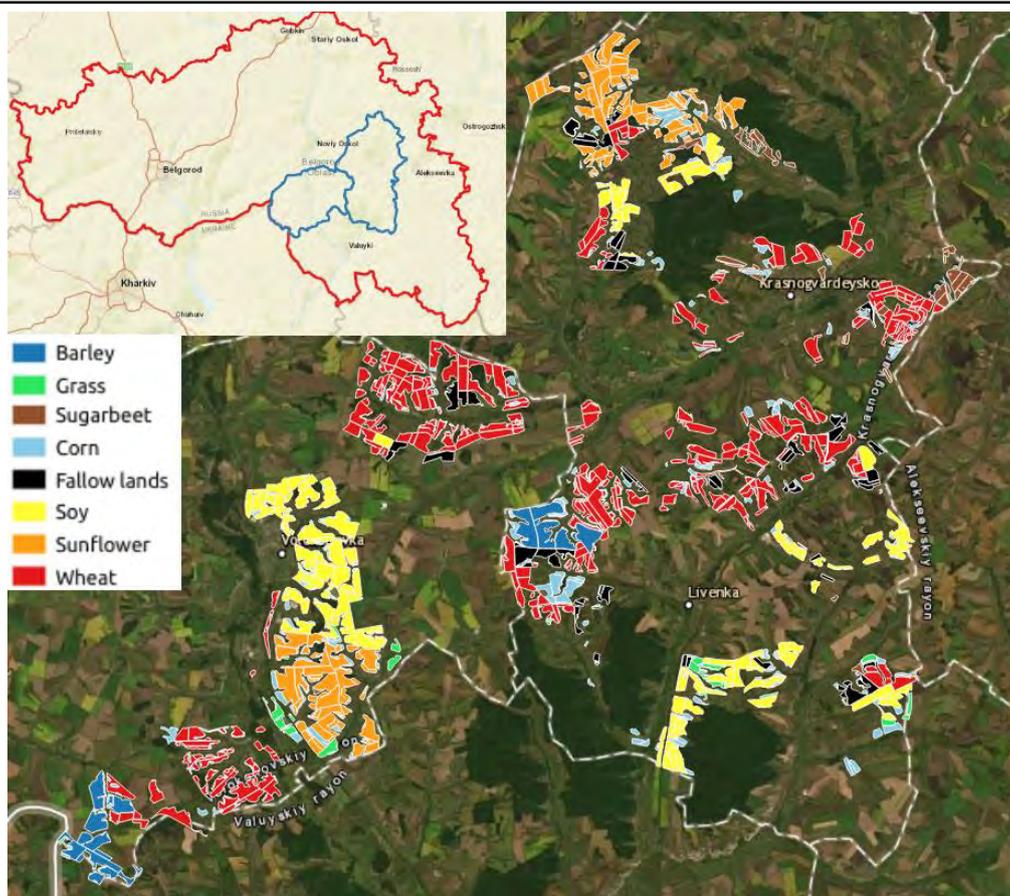


Рис. 1. Область интереса с метками классов за 2019 год
Fig. 1. Area of interest with class labels for 2019 year

В качестве источников спутниковых данных рассматривались такие спутники, как Sentinel-2, Landsat-8 и MODIS. MODIS имеет слишком низкое пространственное разрешение 250x250 метров, поэтому сравнивались два оставшихся спутника.

Sentinel-2 имеет временной интервал в 5 дней для одной точки поверхности, пространственное разрешение в 10 м в каналах RGB и NIR-диапазона, 20 м в каналах вегетации красного края и SWIR-диапазона и 60 м в каналах для прибрежного аэрозоля, водной взвеси и определения перистых облаков [Sentinel-2, 2022].

Landsat-8 имеет меньшее число каналов с меньшим пространственным разрешением (7 каналов в 30 м и 1 канал в 15 м), а также больший временной интервал между съемками одной точки поверхности (15 дней). Данная периодичность достаточна для решения поставленной задачи. Однако вероятность того, что в момент съемки над зоной интереса будет стоять облачность, может сделать сильный временной разрыв между данными. Это сильно искажает динамику вегетации растительности.

По данным сравнения решено было выбрать спутник Sentinel-2. В программе европейского космического агентства Copernicus Sentinel-2 задействовано 2 спутника – Sentinel-2A и Sentinel-2B. Они были запущены в 2015 и 2017 году соответственно. В данной работе использовались данные уровня обработки L2A, включающие атмосферную коррекцию и расчет масок облачности и снежного покрова [Sentinel-2, 2022].

Спутниковые данные были скачаны с сервиса Copernicus Open Access Hub, в котором исходные данные со спутников представлены в виде продуктов – архивированные данные в виде тайлов размером 100 на 100 км [Copernicus OAH, 2022].

Для классификации тайлы были разделены на поля по имеющимся контурам в каждом из каналов и соединены по датам с промежутком в 10 дней. Данные по каждому полю были сохранены как отдельные файлы в виде numpy-массивов.

Для уменьшения влияния облачности на качество предсказаний модели был разработан специальный алгоритм, заполняющий облачные пиксели интерполированными данными. Результат работы алгоритма показан на рис. 2:



Рис. 2. Процесс интерполяции облачных снимков: а) исходные RGB-данные; б) маска заменяемых пикселей; в) интерполированные RGB-данные

Fig. 2. Process of cloud data interpolation: a) original RGB-data; b) pixel replace masks; c) interpolated RGB-data

Процедура работы алгоритма

1. Для поля берутся его многоспектральный снимок и маска облачности (скачивается вместе с продуктами Sentinel-2).
2. Алгоритм проходит по каждой из дат и ищет облачные пиксели.
3. При нахождении облачного пикселя алгоритм ищет предыдущую и последующую безоблачные даты для этого пикселя.
4. От крайнего левого до крайнего правого значения каждый канал заполняется методом линейной интерполяции.

Разработанный подход позволил уменьшить влияние облачных снимков на точность классификатора.



Для уменьшения влияния выбросов (дефектные пиксели, пиксели с других полей, постройки, остатки неправильной разметки) перед подачей на нейронную сеть производилось отсеивание 5 % наиболее больших и 5 % наиболее низких по значению вегетационного индекса пикселей. Эти пиксели помечались как незначимые и не подавались на нейронную сеть.

Для обучения модели использовались данные за вегетационный период (с 1 марта по 31 октября с интервалом в 10 дней). Для распознавания были выбраны 8 каналов (B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8 и B8A) и добавлен дополнительный канал с рассчитанным индексом вегетации – NDVI.

Операции скачивания и обработки спутниковых данных проводились с помощью библиотек на языке Python: GDAL [GDAL, 2022], Rasterio [Rasterio, 2022], Numpy, Matplotlib.

Подбор архитектуры и обучение нейронной сети

В данной работе было решено использовать собственную архитектуру нейронной сети. Ранее были апробированы другие архитектуры нейронных сетей: с трехмерными сверточными слоями, двухмерными сверточными слоями, LSTM [Brandt, 2019]. Данные архитектуры показали хороший результат, но остался потенциал к улучшению качества предсказаний [Кузьменко, 2020].

Для учета более полного набора признаков (пространственные, временные и межканальные) принято решение о разработке архитектуры нейронной сети с одномерными сверточными слоями и рекуррентным LSTM-слоем.

На вход модели поступает 16 временных примеров с 8 случайными ненулевыми пикселями по 9 каналам с одного поля. Ранее алгоритм предобработки сводил поля к единому размеру и оставлял пространственную геопривязку [Кононов, 2020]. От пространственной привязки решено было отказаться, так как в предыдущих исследованиях модель с пространственной логикой не показала достойного результата [Кузьменко, 2020]. Здесь мы предполагаем, что структура поля однородна и большое число различных сочетаний случайных пикселей должно увеличить вариативность и универсальность модели.

Архитектура модели нейронной сети представлена на рис. 3. Модель нейронной сети состоит из одномерного сверточного слоя и слоя пулинга. Одномерные свертки извлекают признаки, а последующий слой пулинга максимальных значений выбирает наиболее информативные признаки для передачи на следующий слой.

Следующим в модели идет слой исключения (Dropout). Он позволяет уменьшить вероятность переобучения сети за счет исключения из обучения на эпохе заданного процента весовых коэффициентов слоя нейронов.

Затем идет еще один слой одномерных сверток для формирования финальной карты признаков в 64 фильтра.

Все слои, описанные выше, заключены в обертку TimeDistributed для подачи на рекуррентный слой LSTM. Таким образом, сверточные слои нейронной сети формируют карту признаков, которая подается на слои LSTM для поиска временной логики в данных.

После формирования карты признаков данные подаются на рекуррентный слой, состоящий из 64 LSTM ячеек. После этого расположен еще один слой исключения половины обучающих нейронов и полносвязный слой из 128 нейронов с функцией активации ReLU.

Последним стоит слой классификации с числом нейронов, равным числу искомых классов, с функцией активации Softmax.

Разработка и обучение модели производились на фреймворке Keras с TensorFlow v2 API [Tensorflow, 2022], установленных на ОС Ubuntu 20.04. Использовался графический ускоритель Nvidia RTX 2070. Для модели был использован оптимизатор Adam, функция ошибки – categorical cross-entropy, метрики оценки качества – precision и recall. Обучение проводилось несколько раз. Триггером остановки обучения было задано отсутствие уменьшения общей ошибки модели. Обучение с наилучшим результатом продлилось 32 эпохи.

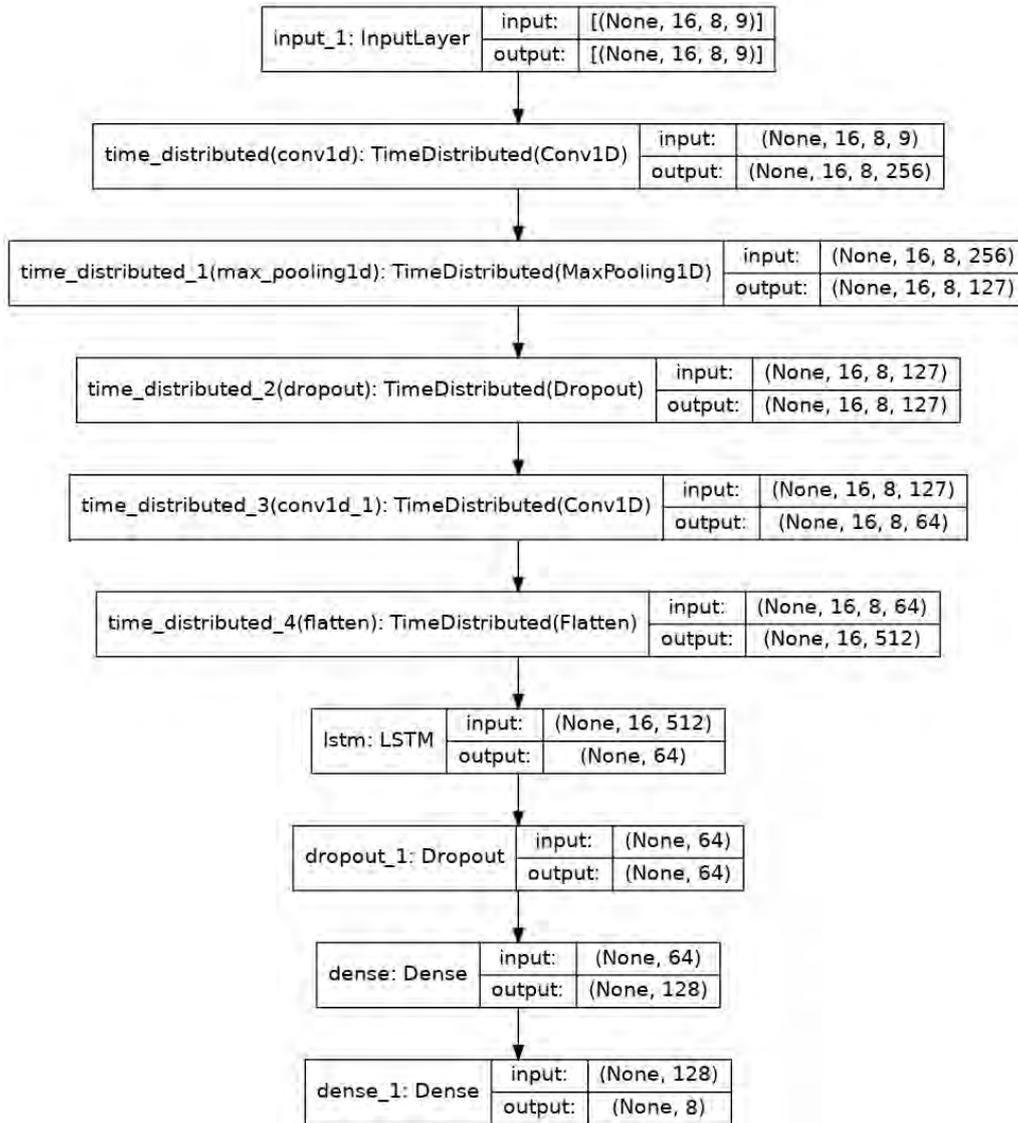


Рис. 3. Архитектура нейронной сети
Fig. 3. Architecture of the neural network

Анализ результатов

Для тестирования классификатора использовался следующий алгоритм: тестовая выборка с помощью генератора случайных выборок пикселей с поля подавалась на модель 5 раз, после этого предсказания классов для каждой попытки складывались, а результатом предсказания являлся класс с наибольшей суммой предсказаний.

Модель показала высокую меру точности классификации F-мера 88,7 %, сравнимую, а по нескольким классам превосходящую, точность для схожих моделей других авторов [Viskovic, 2019; Shunping, 2018]. Наибольшая точность была достигнута для наиболее широко представленных классов: пшеницы, сои и подсолнечника. Показатели предыдущих моделей были значительно улучшены.

Заключение

Новая модель нейронной сети также превзошла точность ранее разработанной модели с трехмерными сверточными слоями. Достигнута высокая точность классификации отдельных культур. Однако достигнутые результаты требуют чистоты данных, которая в настоящем исследовании достигнута в полуручном режиме. Следовательно, требуется разработка новых



подходов предварительной подготовки данных. В рамках данного исследования было проведено пилотное испытание разработанной технологии на примере одного крупного хозяйства с количеством полей в 2000 штук. В частности, было выявлено, что в 2020 году в хозяйстве было заявлено 94 поля под парами, но по факту 13 полей были полностью или частично засеяны сельскохозяйственными культурами.

Таблица 1
Table 1

Метрики модели по результатам тестирования
Model quality metrics test results

Класс	Precision	Recall	F-мера
Пшеница	97,4 %	97,4 %	97,4 %
Ячмень	81,3 %	89,7 %	85,2 %
Кукуруза	92,4 %	97,3 %	94,8 %
Подсолнечник	100 %	91,1 %	95,3 %
Соя	95 %	96 %	95,5 %
Сахарная свекла	83,3 %	71,4 %	76,9 %
Многолетние травы	66,7 %	80 %	72,7 %
Пар	90 %	93,8 %	91,8 %
СРЕДНЕЕ	88,3 %	89,6 %	88,7%

Выводы

Для автоматизации процессов подготовки данных разрабатывается алгоритм разбиения полей на составные части с учетом типа используемости. Специфика формы границ и вариативная смена яркости и цвета пикселей не позволяет применить простые алгоритмы построения границ и требуется проработка подхода для автоматического разбиения. В результате работы с масками облачности было выявлено, что они плохо работают с дымкой, когда явных признаков облачности не видно, однако при визуальном просмотре наблюдается замутнение изображения. В настоящее время разрабатывается алгоритм анализа подобных случаев и корректировки данных. Также прорабатывается алгоритм предварительной оценки используемости полей с целью выявления земель в контурах полей, которые заброшены. Также планируется расширение списка распознаваемых культур по мере доступности новых данных для обучения нейронной сети.

Список литературы

- Кононов В.М., Асадуллаев Р.Г., Кузьменко Н.И. 2020. Алгоритм подготовки мультиспектральных спутниковых данных для задачи классификации сельскохозяйственных культур. Научный результат. Информационные технологии. URL: www.rinformation.ru/en/journal/download/2072 (дата обращения 20 января 2022).
- Кузьменко Н.И., Асадуллаев Р.Г. 2020. Нейронная сеть для классификации сельскохозяйственных культур по многоспектральным данным дистанционного зондирования земли. Сборник материалов VIII международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве», (Белгород, 24–25 сентября 2020 г.) Белгород: ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ»: 352–357.
- Чурсин И.Н., Филиппов Д.В., Горохова И.Н., 2018. Распознавание сельскохозяйственных культур по мультиспектральным космическим снимкам высокого разрешения. Вестник компьютерных и информационных технологий. №11 (173).



- Brandt J., 2019. Spatio-temporal crop classification of low-resolution satellite imagery with capsule layers and distributed attention. URL: arxiv.org/pdf/1904.10130v1.pdf (дата обращения 21 января 2022). Copernicus Open Access Hub. URL: www.scihub.copernicus.eu/ (дата обращения 20 января 2022). GDAL/OGR Python API. URL: www.gdal.org/python/index.html (дата обращения 1 февраля 2022).
- Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F.X., 2018. Deep Learning in Agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*. URL: www.arxiv.org/pdf/1807.11809 (дата обращения 1 февраля 2022).
- Liakos K.G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochits D., 2018. Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors* (Special Issue "Sensors in Agriculture 2018"). URL: www.mdpi.com/1424-8220/18/8/2674/pdf (дата обращения 28 января 2022).
- Neetu and Ray S.S., 2019. Exploring machine learning classification algorithms for crop classification using Sentinel 2 data. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. XLII-3/W6. URL: www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-3-W6/573/2019/isprs-archives-XLII-3-W6-573-2019.pdf (дата обращения 27 января 2022).
- Rasterio: access to geospatial raster data. URL: rasterio.readthedocs.io/en/latest/ (дата обращения 1 февраля 2022).
- Shunping J., Zhang C., Xu A., Shi Y., Duan Y., 2018. 3D Convolutional Neural Networks for Crop Classification with Multi-Temporal Remote Sensing Images. *Remote Sensing*. URL: www.mdpi.com/2072-4292/10/1/75/pdf (дата обращения 1 февраля 2022).
- Song X.-P., Huang W., Hansen M.C., Potapov P., 2021. An evaluation of Landsat, Sentinel-2, Sentinel-1 and MODIS data for crop type mapping, *Science of Remote Sensing*, Vol. 3.
- Tensorflow Core API. URL: www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/ (дата обращения 2 февраля 2022).
- The Copernicus Sentinel-2 mission. URL: www.sentinel.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/ (дата обращения 2 февраля 2022).
- Viskovic L., Kosovic I. N., Mastelic T., 2019. Crop Classification using Multi-spectral and Multitemporal Satellite Imagery with Machine Learning. In the Proceedings of the International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM): 1–5.

References

- Kononov V.M., Asadullaev R.G., Kuzmenko N.I., 2020. Algorithm of multi-spectral satellite data preparation for agricultural crop classification. *Research Result. Information technologies*. Available at: www.rriinformation.ru/en/journal/download/2072 (accessed 20 January 2022). (in Russian)
- Kuzmenko N.I., Asadullaev R.G., 2020. Neural network for the crop classification on the multispectral Earth remote sensing data. In the Collection of works of the Information Technologies in Science, Education and Production (ITSEP-2020) Conference, pp: 352–357. (in Russian)
- Chursin I.N., Philippov D.V., Gorokhova I.N., 2018. Practice in the recognition of crops on multispectral high-resolution satellite imagery. *Herald of computer and information technologies*. №11 (173). (in Russian)
- Brandt J., 2019. Spatio-temporal crop classification of low-resolution satellite imagery with capsule layers and distributed attention. Available at: arxiv.org/pdf/1904.10130v1.pdf (accessed 21 January 2022). Copernicus Open Access Hub. URL: www.scihub.copernicus.eu/ (accessed 20 January 2022). GDAL/OGR Python API. URL: www.gdal.org/python/index.html (accessed 1 February 2022).
- Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F.X., 2018. Deep Learning in Agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*. Available at: www.arxiv.org/pdf/1807.11809 (accessed 1 February 2022).
- Liakos K.G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochits D., 2018. Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors* (Special Issue "Sensors in Agriculture 2018"). Available at: www.mdpi.com/1424-8220/18/8/2674/pdf (accessed 28 January 2022).
- Neetu and Ray S.S., 2019. Exploring machine learning classification algorithms for crop classification using Sentinel 2 data. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. XLII-3/W6. Available at: www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-3-W6/573/2019/isprs-archives-XLII-3-W6-573-2019.pdf (accessed 27 January 2022).
- Rasterio: access to geospatial raster data. URL: rasterio.readthedocs.io/en/latest/ accessed 1 February 2022).
- Shunping J., Zhang C., Xu A., Shi Y., Duan Y., 2018. 3D Convolutional Neural Networks for Crop Classification with Multi-Temporal Remote Sensing Images. *Remote Sensing*. Available at: www.mdpi.com/2072-4292/10/1/75/pdf (accessed 1 February 2022).



- Song X.-P., Huang W., Hansen M.C., Potapov P., 2021. An evaluation of Landsat, Sentinel-2, Sentinel-1 and MODIS data for crop type mapping, *Science of Remote Sensing*, Vol. 3.
- Tensorflow Core API. Available at: www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/ (accessed 2 February 2022).
- The Copernicus Sentinel-2 mission. Available at: www.sentinel.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/ (accessed 2 February 2022).
- Viskovic L., Kosovic I.N., Mastelic T., 2019. Crop Classification using Multi-spectral and Multitemporal Satellite Imagery with Machine Learning. In the Proceedings of the International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM): 1-5.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Асадуллаев Рустам Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Rustam R. Asadullaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Кузьменко Николай Иванович, магистрант 2 года обучения кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Nikolay I. Kuzmenko, 2-year undergraduate student of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia



УДК 004.8:34

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-169-177

Возможности биометрической видеоаналитики и правила ее применения

¹⁾ Азаров В.Г., ²⁾ Чуприна М.В.

¹⁾ АНОО ВО «Сибирский институт бизнеса и информационных технологий»
Россия, 644116, г. Омск, ул. 24-я Северная, 196/1

²⁾ Автономная некоммерческая профессиональная образовательная организация
«Омская академия экономики и предпринимательства»,
Россия, 644112, г. Омск, пр-т Комарова, д. 13
E-mail: west_55@inbox.ru; marinachup@yandex.ru

Аннотация. В условиях усиливающихся санкционных мер к Российской Федерации со стороны западных стран в отношении телекоммуникационного, аппаратного и программного обеспечения, ограничения трансграничных услуг Big Data, а также ухода с российского рынка основных вендоров и поставщиков для ЦОД и СХД возникает потребность оценить не только возможности импортозамещения аппаратно-программных комплексов видеоаналитики, но и необходимость консолидировать научно-обоснованные предложения по правилам ее применения. Цель исследования заключается в определении возможностей и правил применения биометрической видеоаналитики в госсекторе и бизнесе, выявлении проблемных позиций, сдерживающих продвижение видеоаналитики на отечественном сегменте рынка ИКТ. В результате проведенного исследования установлены правила применения биометрической видеоаналитики в госсекторе для задач федерального значения при эксплуатации аппаратно-программного комплекса «Безопасный город», а также правила применения биометрической видеоаналитики для бизнеса. Сделан вывод: о доминировании технологии СКУД, детекции движения, обзорного видеонаблюдения для бизнес-решений; о преобладании обзорной видеорегистрации, биометрии, поведенческой активности, распознавания номеров транспортных средств и детекции в госсекторе. Результаты исследования вносят вклад в концепцию формирования общих правил и норм для всех систем видеоаналитики, могут быть использованы ТК 164 «Искусственный интеллект» для развития линейки стандартов ГОСТ Р 59385-2021.

Ключевые слова: видеоаналитика, биометрия, программное обеспечение, вендоры, нормативные документы, государственный сектор, бизнес

Для цитирования: Азаров В.Г., Чуприна М.В. 2022. Возможности биометрической видеоаналитики и правила ее применения. Экономика. Информатика. 49(1): 169–177. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-169-177

The possibilities of biometric video analytics and the rules of its application

¹⁾ Vyacheslav G. Azarov, ²⁾ Marina V. Chuprina

¹⁾ Autonomous non-profit educational institution of higher education «Siberian Business and Information Technology Institute», 196/1 24th Severnaya St, Omsk, 644116, Russia

²⁾ Autonomous non-profit professional education organization «Omsk Academy of Economics and Entrepreneurship», 13 Komarova Ave, Omsk, 644112, Russia
E-mail: west_55@inbox.ru; marinachup@yandex.ru

Abstract. In the conditions of increasing sanctions measures to the Russian Federation on the part of Western countries regarding telecommunications, hardware and software, limitations of transboundary services Big Data, as well as care from the Russian market of main vendors and suppliers for the data center and storage, there is a need to evaluate not only the possibilities of importing hardware. Program complexes



of video analytics, but also the need to consolidate scientifically based proposals for the rules of its application. The purpose of the study is to determine the possibilities and rules for the use of biometric video analytics in the public sector and business, identifying problem positions that restrain the promotion of video analytics on the domestic segment of the ICT market. As a result of the study, the rules for the use of biometric video analytics in the public sector for the tasks of the federal value during operation of the hardware and software complex «Safe City», as well as the rules for using biometric video analytics for business. The conclusion was concluded: about the dominance of the technology of akud, movement detection, overview video surveillance for business solutions; On the prevalence of review of the video recording, biometrics, behavioral activity, recognition of vehicles and detection in the public sector. The results of the study contribute to the concept of formation of general rules and norms for all video analytics systems, TC 164 «Artificial Intelligence» can be used to develop the line of standards GOST R 59385-2021.

Keywords: video analytics, biometrics, software, vendors, regulatory documents, government sector, business

For citation: Azarov V.G., Chuprina M.V. 2022. The possibilities of biometric video analytics and the rules of its application. Economics. Information technologies. 49(1): 169–177 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-169-177

Введение

Видеоаналитика имеет несколько отличающихся друг от друга определений, что можно сравнить на примерах определения [Сазонова, Белобрыкин, 2021] и других источников^{3,4}. В общем понимании сущность видеоаналитики включает в себя аппаратные средства и программное обеспечение на основе искусственного интеллекта, позволяющее идентифицировать и описать объект наблюдения.

Возможности видеоаналитики и особенности эксплуатации закреплены международным стандартом Европейского союза ONVIF (Open Network Video Interface Forum), стандартом RFC 7826/RTSP Организации открытых стандартов IETF (Internet Engineering Task Force), отечественным стандартом ГОСТ Р 59385-2021, методическими рекомендациями Р 78.36.030-2013. Отдельные аспекты рассматривают ГОСТ Р 51241-2008, ФЗ-16 «О транспортной безопасности», ФЗ-123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и другие нормативные документы, например, Приказ МВД России № 1092, регламентирующий применение систем видеоидентификации на объектах спортивной инфраструктуры. При организации ИТ-систем на основе биометрической идентификации следует также учитывать нормативные акты ФСТЭК, как регулятора организационных и технических мер по защите персональных данных, а также Регламент о защите персональных данных Европейского союза GDPR (General Data Protection Regulation) и ФЗ-152 «О персональных данных».

Однако в средствах массовой информации, научных публикациях отдельные направления применения видеоаналитики (в первую очередь, биометрическое распознавание) и ее нормативно-правовая база подвергается критике и, следовательно, требует более тщательно изучения и конструктивного диалога между властью, законом, бизнесом и личностью.

Материалы и результаты исследований

Госсектор

Анализ определений ГОСТ Р 59385-2021 «Информационные технологии. Искусственный интеллект. Ситуационная видеоаналитика. Термины и определения» показывает, стандарт имеет

³ Видеоаналитика, термины, сферы применения, технологии Video Content Analysis. 2020. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Видеоаналитика_\(термины,_сферы_применения,_технологии\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Видеоаналитика_(термины,_сферы_применения,_технологии)) (дата обращения: 10.03.2022).

⁴ ГОСТ Р 59385-2021. Информационные технологии. Искусственный интеллект. Ситуационная видеоаналитика. Термины и определения. Дата введения 01.09.2021.

в своей текстовой части доминирующие определения, понятия, классификационные признаки, подходящие для применения видеоаналитики в государственном секторе и в частности для биометрического распознавания лиц, рубежного контроля и детекции. ГОСТ Р 59385-2021 полностью соответствует существующим решениям, действующим в рамках федеральной инициативы АПК «Безопасный город», транспортной безопасности⁵, для силовых ведомств и структур, для организаций, осуществляющих деятельность в области опасных производственных объектов (ФЗ-116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»). Общая классификация системы видеоаналитики трактуется с точки зрения тождественности отмеченных областей применения, где согласно ч. 2 ст. 11 ФЗ-152 «О персональных данных», может быть применено распознавание субъектов персональных данных и трансляция персональных данных во внешние хранилища без согласия на их обработку. Такими правами наделены региональные центры обработки данных (ЦОД) и Единый центр хранения и обработки данных (г. Москва) и региональные центры субъектов Российской Федерации, работающие в концепции Smart Polic. Поскольку доступ к интеллектуальным камерам и архивному видеоряду имеют МВД, МЧС, другие государственные ведомства, а также службы городского управления, то условно, стандарт описывает всего лишь возможности аналитических систем госсектора. АПК «Безопасный город» включает в свой состав видеоаналитику природных, техногенных, биолого-социальных угроз, угроз общественной безопасности, поэтому возможности интеграции локальных подсистем видеоаналитики региональных и муниципальных субъектов значительны.

Отдельно следует отметить развитие стационарных систем биометрической видеоаналитики на объектах пенитенциарной системы [Карабанов, Александрова, 2022] и мобильных на основе беспилотных летательных аппаратов, однако по мнению [Королевой, 2020], законодательно не решены вопросы нормативного регулирования при получении и передаче информации, содержащей персональные данные осужденного, в частности его видеоизображение, поскольку в учреждениях УИС применяются четыре типа систем идентификации биометрических персональных данных человека, а именно по рисунку отпечатков пальцев, параметрам лица, радужной оболочки глаза и сетчатки глаз [Онищенко, 49]. Применение технических средств регламентируется Уголовно-исполнительным кодексом Российской Федерации, Федеральным законом от 15.07.1995 № 103-ФЗ «О содержании под стражей подозреваемых и обвиняемых в совершении преступлений» (ст. 34) и Законом Российской Федерации от 21.07.1993 № 5473-1 ст. 12, 13 «Об учреждениях и органах, исполняющих уголовные наказания в виде лишения свободы». Поэтому для применения биометрической видеоаналитики в деятельности органов и учреждений уголовно-исполнительной системы требуется внесение дополнений в уголовно-процессуальное законодательство.

Назовем отдельные инициативы, связанные с внедрением биометрической видеоаналитики в государственный сегмент. Так, в работе [Соловьев, Феклин, 2019] рассмотрен пилотный проект по биометрической оценке удовлетворенности граждан услугами МФЦ. Проект планируется реплицировать на все МФЦ Российской Федерации. Следует также отметить активность разработок биометрических проектов в области медицины и фармацевтики и других государственных секторах.

Разработку аппаратно-программных комплексов для биометрической видеоаналитики в госсекторе ведут следующие отечественные вендоры и интеграторы: ISS, Vocord, Macroscop, Ларга.Видеосервер, Видеоинтеллект и другие [Сазонова, Белобрыкин, 2021], NtechLab [Гусенкова, 2021], однако достаточно широко применяются и зарубежные решения, технологии и протоколы.

В списках типовых решений присутствуют системы с использованием тревожных триггеров, биометрическое распознавание физических лиц, распознавание номеров транспорт-

⁵ Постановление Правительства РФ от 26.09.2016 г. № 969 (ред. от 17.04.2021) Об утверждении требований к функциональным свойствам технических средств обеспечения транспортной безопасности и Правил обязательной сертификации технических средств обеспечения транспортной безопасности. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420377376> (дата обращения: 10.03.2022).



ных средств, мониторинга на транспорте и детекции. Например, в Москве во время пандемии функционировало 178 тыс. камер, в задачи которых входило выявление нарушений обязательной самоизоляции отдельных граждан, при этом в Лондоне количество камер видеонаблюдения составляет порядка 420 тыс. [Радостева, 2021]. Всего же, по данным [Кузьмин, Половинка, 2021], по состоянию на 1 января 2021 г. в г. Москве интегрировано 200 209 видеокамер высокого разрешения, из которых 197 113 видеокамер установлены в Москве, 3096 видеокамер – в Московской области.

В аппаратном обеспечении видеосерверов преобладают зарубежные платформы, но рассматриваются и альтернативы на основе архитектур MultiClet, KVARC, MALT, Leonhard и других. Например, при импортозамещении может использоваться российский программно-аппаратный комплекс семантических видеосерверов с поддержкой алгоритмов машинного обучения на основе СпК 1892ВМ248, организованный на базе процессоров ELcore [Беляев и др., 2020]. Сложнее обстоит ситуация с телеком-сектором и отдельными решениями для ЦОД. Приостановили свою деятельность в России HP, Cisco, Intel, AMD, IBM, IFS, Nvidia, SAS, Pure Storage и другие поставщики.

Биометрическая видеоаналитика для госсектора подвергается критике по нескольким направлениям. В первую очередь, речь идет об организационном аспекте централизованного перезапуска по всей России систем городской безопасности, а также создание единой платформы Big Data на территории Российской Федерации для агрегации и обработки данных. При этом отмечаются риски монополизации рынка оборудования для городских систем⁶. Во вторую очередь, следует отметить правовые коллизии, возникающие в части угроз правам и свободам личности. Так, решения судов первой и кассационной инстанций в части определений по исковым заявлениям о запрете использования системы распознавания лиц на камерах городского видеонаблюдения, торговых комплексах (как обязательного компонента видеоаналитики в рамках антитеррористических мероприятий) и взыскании компенсации вреда основываются на статье 12 Федерального закона о ФЗ-144 «Об оперативно-розыскной деятельности», что автоматически оставляет иски физических лиц без удовлетворения, что, по мнению ряда источников, говорит о существовании угроз правам и свободам человека в условиях глобальной цифровизации^{7,8}. Особый интерес представляют публикации о биометрической аналитике как инструменте манипулирования человеком, контроля за его поведением, по информации источника⁹, говорится о размывании морально-этических норм и формировании культуры слежки среди европейского сообщества, отсутствии личных границ, а также опыта национальных и частных инициатив по ограничению нарушений человеческого достоинства и автономии личности, связанных с тотальным биометрическим наблюдением. В работе [Котлярова, Бабаев, 2015] говорится, что использование средств видеоаналитики или анализа поведения заставляет личность чувствовать, что она находится под наблюдением и, следовательно, ущемляет её независимость.

Бизнес

Для бизнеса и его функциональных составляющих термин «видеоаналитика», представленный в ГОСТ Р 59385-2021, не дает полного представления о требованиях к сертификации и лицензированию ПО (программное обеспечение) видеоаналитики и СКУД (системы контроля доступа) физических лиц и их биометрии, нет понимания процедурных функций, нормативно-правовых указаний в части правил и полномочий использования технологий

⁶ «Безопасный город» подвергся разбору. 2021. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5089966> (дата обращения 10.03.2022).

⁷ Шувалова М. 2020. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5089966> (дата обращения 10.03.2022).

⁸ Емельяненко В. 2021. СПЧ готовит «Цифровой кодекс прав человека». URL: <https://rg.ru/2021/09/05/spch-gotovit-cifrovoj-kodeks-prav-cheloveka.html> (дата обращения 10.03.2022).

⁹ Садовников Д.В. 2021. Дистанционное распознавание людей в режиме реального времени: позиция международных организаций и экспертного сообщества, лучшие практики правового регулирования и правоприменения URL: https://zakon.ru/blog/2021/11/18/distancionnoe_raspoznvanie_lyudej_v_rezhime_realnogo_vremeni_poziciya mezhdunarodnyh_organizacij_i_ (дата обращения 10.03.2022).

идентификации биометрических параметров субъектов персональных данных, отсутствуют преимущества стандарта с документами ФСТЭК.

Основным сдерживающим фактором для широкого применения видеоаналитики в бизнесе являются вопросы конфиденциальности частной жизни, так как возможны злоупотребления и затяжные судебные процессы¹⁰. Выжидательные позиции бизнеса основаны и на присутствии в законодательстве юридических коллизий. Например, будут ли являться облачные видеоархивы информационными системами персональных данных? Так, разъяснения ФСТЭК по вопросам отнесения фото-, видеоизображений к биометрическим персональным данным и особенностей их обработки говорят о том, что фотография и видеозапись, которые позволяют установить личность, относятся к персональным данным¹¹, ст. 152.1 ГК РФ относит изображение к персональным данным и напрямую запрещает использование изображения (за исключением случаев, описанных в ст. 152.1 ГК РФ). Приведенные нормативные акты не работают для торговых залов и иных помещений организаций, реализующих товары, работы и услуги потребителям. Осуществляемая в них фото- и видеосъемка допускается Законом Российской Федерации от 7 февраля 1992 года № 2300-1 «О защите прав потребителей», гарантирующим право любого потребителя на получение необходимой и достоверной информации об изготовителе (исполнителе, продавце), режиме его работы и реализуемых им товарах (работах, услугах)¹², а также ФЗ-144 «Об оперативно-розыскной деятельности». В части последнего следует отметить необходимость поддержки бизнесом оперативных мероприятий, связанных с необходимостью анализа данных об объектах оперативного интереса с формированием электронного досье и выявлением цифровых следов, что возлагает на бизнес финансовые обременения, связанные с необходимостью расширения программно-технических мощностей.

Дополнительным сдерживающим фактором является отсутствие прямых механизмов сертификации на отказоустойчивость Big Data для хранения видеоархивов в условиях геолокации видеоряда как на территории Российской Федерации (Яндекс, Mail.ru Group, Ростелеком, Банк России, Мегафон), так и во внешних хранилищах (Amazon, Microsoft, Google, Alibaba и IBM). Именно с банковской сферой и Big Data связаны наиболее известные проекты ВТБ, Сбербанк, Тинькофф Банк и других. И если сертификация региональных ЦОД попадает под юрисдикцию ГОСТ Р 58811-2020 и ГОСТ Р 58812-2020, но в своем большинстве сертифицируется по Tier, то сертификация Big Data в виду архитектурных особенностей и географических координат кластеров попадает под ответственность и сертификацию стандартов TIA-942, EN 50600, ISO/IEC TS 22237. Кроме того, отсутствует регламент для real-time и remoted аналитики видеоряда.

В условиях санкционных мер к Российской Федерации видится проблематичным применение средств работы с Big Data, такими, как отмечается в работе [Осипенко, 2018]: IBM i2, Aster MapReduce appliance, Oracle Big Data appliance, Greenplum appliance, Apache Flink, Apache Kafka Streams и др. Microsoft, Oracle, SAP и другие уже приостановили свою деятельность в России¹³.

¹⁰ Рудычева Н. 2021. Облачное видеонаблюдение в России растет в 5 раз быстрее рынка в целом. URL: https://www.cnews.ru/reviews/videonabludenie_2021 (дата обращения 10.03.2022).

¹¹ Разъяснения Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций от 30 августа 2013 г. «Разъяснения по вопросам отнесения фото-, видеоизображений, дактилоскопических данных и иной информации к биометрическим персональным данным и особенностей их обработки». 2013. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70342932/> (дата обращения 10.03.2022).

¹² Пяняшкин М. 2021. Видеонаблюдение – это не только про безопасность. URL: https://www.cnews.ru/reviews/videonabludenie_2021/interviews/maksim_panyashkin (дата обращения 10.03.2022).

¹³ Makenzie Holland, Jim O'Donnell, Patrick Thibodeau. 2022. Russian sanctions prompt tech to stop sales, curb services. URL: https://www-techtargget-com.translate.google/searchcio/news/252514218/Russian-sanctions-prompt-tech-to-stop-sales-curb-services?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=op,sc (дата обращения 05.03.2022).



Отечественные решения в научной литературе описаны не достаточно, что не позволяет прогнозировать качество и перспективы импортозамещения зарубежных платформ. Таким образом, для бизнеса нужны единые отечественные центры мониторинга и управления данными, ПО сквозной аналитики Big Data, но этот сегмент искусственно сдерживается¹⁴. Примером тому являются действия Государственной Думы, отклонившей поправки Минцифры в Закон «Об информации, информационных технологиях и защите информации» в части больших данных, реестра его операторов и способов защиты данных граждан. Очевидно, такие споры выходят за рамки вопроса о соотношении использования систем видеонаблюдения и соблюдения законодательства о персональных данных¹⁵. Поэтому необходимо выработать единые средства оценки эффективности видеоаналитики для бизнеса на основе KPI [Азаров, Чуприна, 2021], адаптировать нормативно-правовую базу для реалий текущей внутренней и мировой общеполитической обстановки.

В остальных случаях для применения видеоидентификации, наблюдения и рубежного контроля разработаны и действуют оптимальные нормы и правила. Их состав избыточен и включает не только статьи УК РФ, ГК РФ, КоАП РФ, но и официальные пояснения к федеральному законодательству, статьям гражданского процессуального кодекса, другим нормативным актам. В сети Интернет доступны судебная практика, пояснения регуляторов и практикующих адвокатов. Поэтому применение платформ биометрической видеоаналитики для бизнеса и частного сектора в большинстве случаев ограничивается обзорным наблюдением краткосрочного хранения на предприятиях, в торговых залах, многоквартирных домах, распознаванием номеров транспортных средств на придворовых территориях, рубежным контролем, контролем ношения защитной маски и повышенной температуры тела. В приведенных частностях нашли применение услуги IoT (Internet of Things), VSaaS (Video Surveillance-as-a-Service), сервисы предоставления ПО для управления видео VMS (Video Management System), а также IVS (Intelligent Video Surveillance).

Несмотря на противоречивость нормативного регламента применения биометрической видеоаналитики, именно облачное видеонаблюдение для российского бизнеса и частных лиц более успешно продвигается на рынке видеоаналитики и является главной точкой роста, чему способствует доступность прикладного программного обеспечения и интеграция в IP-камеры ПО аналитики. Например, известны ПО Trassir Cloud, IVideon, I-Cam, YouLook и другие. При этом малый и средний бизнес сможет приобретать российское программное обеспечение IVideon на льготных основаниях за счет компенсации 50 % стоимости лицензии из федерального бюджета^{16,17}. Распространены также решения для IoT, например, Dahua, Smartec, Beward и другие приемлемые для массового потребителя продукты, не требующие роутера и специализированных настроек, однако поддержка и сопровождение решений остается на текущий момент под вопросом. В сети Интернет функционируют онлайн-калькуляторы для возможной оценки финансирования собственного проекта. Кроме того, рост сегмента рынка объясняется полезными сервисными функциями IoT – интеграции видеоряда в iOS и Android, постепенным переходом от аналоговых к цифровым устройствам слежения, а также наличием отдельного ПО с сертификатами SSL (Secure Sockets Layer), которые, однако, могут быть отозваны¹⁸. Примерами реализации емкого по сервисам ПО являются решения SecurOS (компания ISS), Интеллект (компания ITV), XProtect (компания Milestone) и другие. Интеграция сцен видеонаблюдения и аналитики допу-

¹⁴ Пяняшкин М. 2021. Видеонаблюдение – это не только про безопасность. URL: https://www.cnews.ru/reviews/videonabludenie_2021/interviews/maksim_panyashkin (дата обращения 10.03.2022).

¹⁵ Сазонова М. 2021. Использование системы видеонаблюдения – нарушение законодательства о персональных данных? URL: <https://www.garant.ru/news/1457381/> (дата обращения 10.03.2022).

¹⁶ Малый и средний бизнес сможет купить российский софт на 50% дешевле. 2021. URL: <https://digital.gov.ru/ru/events/41360/> (дата обращения 10.03.2022).

¹⁷ Скидка 50% на российский софт для малого и среднего бизнеса. 2021. URL: <https://рфрит.рф/msp> (дата обращения 10.03.2022).

¹⁸ Чем российским онлайн-ресурсам грозит отзыв SSL-сертификатов. 2022. URL: <https://d-russia.ru/chem-rossijskim-onlajn-resursam-grozit-otzyv-ssl-sertifikatov.html> (дата обращения 10.03.2022).

стима в ERP, CRM, BI и других платформах, что подтверждается выполненными проектами отечественных вендоров и интеграторов Лиги Цифровой экономики, Крок, Parma TG и зарубежного сегмента интеграторов на отечественном рынке видеонаблюдения и аналитики (Tableau, Power BI, Qlik). Следует отметить, что в качестве одного из популяризаторов субрынка видеоаналитики выступают технологии для негласной съемки видеоинформации, включая отдельные умные решения по стандартам ISO/IEC СТК 1/ПК 42, доступные на известных зарубежных площадках B2C и не попадающие в список видов специальных технических средств, предназначенных для негласного получения информации, ввоз и вывоз которых подлежат лицензированию (утв. постановлением Правительства РФ от 10 марта 2000 г. № 214, с дополнениями). Отдельные инициативы публичных лиц и политиков в части отмены ст. 138.1 УК РФ и внесения изменений [Милютин, Панин, 2019; Усов Е.Г. и др., 2021] в другие «громкие инициативы» популяризации искусственного интеллекта, в частности запуск в марте 2021 г. сервиса оплаты взглядом на кассах самообслуживания супермаркета «Перекресток» [Ахмаева, 30], также могут способствовать повышению интереса к рынку видеоаналитики для бизнеса.

Заключение

Технологии СКУД, детекции движения, обзорного видеонаблюдения, выполнения маркетинговых исследований в торговле и других направлениях анализа видеоданных доминируют для текущих бизнес-решений. В государственном секторе преобладает технология обзорной видеорегистрации, биометрии, поведенческой активности, распознавания номеров транспортных средств и детекции. Следовательно, вектор цифровой биометрической видеоаналитики в текущих условиях смещен в государственный сегмент. Ожидания бизнеса – от правил интеграции биометрической видеоаналитики в корпоративные бизнес-платформы, стандартизации ключевых KPI-метрик и показателей, условий защиты персональных данных от утечек по техническим каналам, обязательных компонентных структур систем видеоаналитики – не оправдались, тем самым ожидать агрегации умной биометрической видеоаналитики с ИТ-платформами для бизнеса сегодня преждевременно.

Сегодня необходима консолидация усилий государства, бизнеса и наукоемких производств для разработки и полноценной реализации собственных решений в биометрической аналитике на уровне программно-аппаратных решений и постепенное полное импортозамещение Big Data, ЦОД и локальных решений отечественными платформами.

Список литературы

- Азаров В.Г., Чуприна М.В. 2021. Метрики ситуационной аналитики в платформах веб, видео и Wi-Fi. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки, 12: 48–53. DOI 10.37882/2223-2966.2021.12.01
- Ахмаева Л.Г. 2022. Изменение потребительского поведения при внедрении технологии биометрической оплаты товаров. Вестник университета, 1: 29–35. DOI 10.26425/1816-4277-2022-1-29-35
- Беляев А.А., Янакова Е.С., Тюрин А.А., Мачарадзе Г.Т. 2020. Анализ видеоинформации с использованием векторных потоковых процессоров с общей памятью. Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 10: 254–263.
- Гусенкова А.А. 2021. Применение систем видеонаблюдения и автоматизированных систем биометрической идентификации человека при производстве портретных экспертиз и исследований (на примере аппаратно-программного комплекса «Безопасный город»). Вестник Московского университета МВД России, 6: 86–90. <https://doi.org/10.24412/2073-0454-2021-6-86-90>
- Карабанов Р.М., Александрова Е.Е. 2022. Обеспечение безопасности в пенитенциарных учреждениях на основе средств видеоаналитики. StudNet, 2: 880–887.
- Королева А.Н. 2020. Правовое регулирование использования беспилотных воздушных судов в уголовно-исполнительной системе. Вестник Самарского юридического института, 3 (39): 29–36. DOI 10.37523/SUI.2020.39.3.004



- Котлярова В.В., Бабаев А.М. 2019. Этические проблемы больших данных. Международный журнал гуманитарных и естественных наук, 5-2: 113–115. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-10926
- Кузьмин Н.А., Половинка А.Ю. 2021. О некоторых возможностях использования искусственного интеллекта в системе АПК «Безопасный город» при раскрытии преступлений в г. Москве. Вестник Московского университета МВД России, 5: 177–180. DOI 10.24412/2073-0454-2021-5-177-180
- Милютин Д.В., Панин Д.А. 2019. Проблемы правоприменения статьи 138.1 УК РФ «Незаконный оборот специальных технических средств, предназначенных для негласного получения информации». Научный портал МВД России, 1: 16–21.
- Онищенко И.С. 2017. Особенности применения систем биометрической идентификации личности на объектах уголовно-исполнительной системы. Ведомости уголовно-исполнительной системы, 12: 47–49.
- Осипенко А.Л. 2018. Перспективы использования информационно-аналитических технологий в оперативно-розыскной деятельности. Общество и право, 4: 80–87.
- Радостева Ю.В. 2021. Обеспечение безопасности при помощи факторов среды в концепции безопасного города. Вестник Краснодарского университета МВД России, 2: 22–26.
- Сазонова Е.А., Белобрыкин Н.Д. 2021. Обзор перспективных информационных технологий видеоаналитики. Символ науки, 3: 37–40.
- Соловьев В.И., Феклин В.Г. 2019. Автоматизированная система анализа удовлетворенности граждан качеством предоставления государственных и муниципальных услуг на основе видеоаналитики. Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством, 4 (42): 108–114.
- Усов Е.Г., Мамедов Э.Ф., Стерхов П.А. 2021. Актуальность введения специальной цели на примере статьи 138.1 Уголовного кодекса Российской Федерации. Вестник экономической безопасности, 5: 242–244. <https://doi.org/10.24412/2414-3995-2021-5-242-244>.

References

- Azarov V.G., Chuprina M.V. 2021. Metriki situatsionnoy analitiki v platformakh veb, video i Wi-Fi [Situation analytics metrics in web, video and wi-fi platforms]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki*. Seriya: Estestvennye i Tekhnicheskie Nauki, 12: 48–53. DOI 10.37882/2223-2966.2021.12.01
- Akhmaeva L.G. 2022. Izmenenie potrebitel'skogo povedeniya pri vnedrenii tekhnologii biometricheskoy oplaty tovarov [Changes in consumer behavior in the introduction of biometric payment technology]. *Vestnik universiteta*, 1: 29–35. DOI 10.26425/1816-4277-2022-1-29-35
- Belyaev A.A., Yanakova E.S., Tyurin A.A., Macharadze G.T. 2020. Analiz videoinformatsii s ispol'zovaniem vektornykh potokovykh protsessorov s obshchey pamyat'yu [Analysis of video information using vector streaming processors with shared memory]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 10: 254–263.
- Gusenkov A.A. 2021. Primenenie sistem videonablyudeniya i avtomatizirovannykh sistem biometricheskoy identifikatsii cheloveka pri proizvodstve portretnykh ekspertiz i issledovaniy (na primere apparatno-programmnogo kompleksa «Bezopasnyy gorod») [Analysis of video information using vector streaming processors with shared memory the use of video surveillance systems and automated systems of biometric identification of a person in the production of portrait examinations and research (on the example of the hardware and software complex «Safe City»)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii*, 6: 86–90. <https://doi.org/10.24412/2073-0454-2021-6-86-90>
- Karabanov R.M., Aleksandrova E.E. 2022. Obespechenie bezopasnosti v penitentsiarnykh uchrezhdeniyakh na osnove sredstv videoanalitiki [Ensuring security in penitentiary institutions based on video analytics]. *StudNet*, 2: 880–887.
- Koroleva A.N. 2020. Pravovoe regulirovanie ispol'zovaniya bespilotnykh vozdushnykh sudov v ugolovno-ispolnitel'noy sisteme [Legal regulation of the use of unmanned aircraft in the penitentiary system]. *Vestnik Samarskogo yuridicheskogo instituta*, 3 (39): 29–36. DOI 10.37523/SUI.2020.39.3.004
- Kotlyarova V.V., Babaev A.M. 2019. Elicheskie problemy bol'shikh dannykh [Ethical problems of Big Data]. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 5-2: 113–115. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-10926
- Kuz'min N.A., Polovinka A.Yu. 2021. O nekotorykh vozmozhnastyakh ispol'zovaniya iskusstvennogo intellekta v sisteme APK «Bezopasnyy gorod» pri raskrytii prestupleniy v g. Moskve [On some



- possibilities for using artificial intelligence in the Safe City APK system in the disclosure of crimes in Moscow]. Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii, 5: 177–180. DOI 10.24412/2073-0454-2021-5-177-180
- Milyutin D.V., Panin D.A. 2019. Problemy pravoprimeneniya stat'i 138.1 UK RF «Nezakonnyy oborot spetsial'nykh tekhnicheskikh sredstv, prednaznachennykh dlya neglasnogo polucheniya informatsii» [Problems of law enforcement of Article 138.1 of the Criminal Code of the Russian Federation «The illegal turnover of special technical means intended for the underfloor receipt of information»]. Nauchnyy portal MVD Rossii, 1: 16–21.
- Onishchenko I.S. 2017. Osobennosti primeneniya sistem biometricheskoy identifikatsii lichnosti na ob'ektakh ugolovno-ispolnitel'noy sistemy [Features of the application of biometric identification systems at the facilities of the criminal executive system]. Vedomosti ugolovno-ispolnitel'noy sistemy, 12: 47–49.
- Osipenko A.L. 2018. Perspektivy ispol'zovaniya informatsionno-analiticheskikh tekhnologiy v operativno-rozysknoy deyatel'nosti [Prospects for using information and analytical technologies in operational investigative activities]. Obshchestvo i pravo, 4: 80–87.
- Radosteva Yu.V. 2021. Obespechenie bezopasnosti pri pomoshchi faktorov srede v kontseptsii bezopasnogo goroda [Ensuring security with the help of environmental factors in the concept of a safe city]. Vestnik Krasnodarskogo universiteta MVD Rossii, 2: 22–26.
- Sazonova E.A., Belobrykin N.D. 2021. Obzor perspektivnykh informatsionnykh tekhnologiy videoanalitiki [Overview of promising information technologies video analytics]. Simvol nauki, 3: 37–40.
- Solov'ev V.I., Feklin V.G. 2019. Avtomatizirovannaya sistema analiza udovletvorennosti grazhdan kachestvom predostavleniya gosudarstvennykh i munitsipal'nykh uslug na osnove videoanalitiki [Automated system for analyzing citizens' satisfaction with the quality of the provision of state and municipal services based on video analytics]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya: Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom, 4(42): 108–114.
- Usov E.G., Mamedov E.F., Sterkhov P.A. 2021. Aktual'nost' vvedeniya spetsial'noy tseli na primere stat'i 138.1 Ugolovnogo kodeksa Rossiyskoy Federatsii [The relevance of the introduction of a special purpose on the example of Article 138.1 of the Criminal Code of the Russian Federation]. Vestnik ekonomicheskoy bezopasnosti, 5: 242–244. <https://doi.org/10.24412/2414-3995-2021-5-242-244>

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Азаров Вячеслав Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент факультета очного обучения, Автономная некоммерческая организация высшего образования «Сибирский институт бизнеса и информационных технологий», г. Омск, Россия

Vyacheslav G. Azarov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Faculty of Faculty, Autonomous non-profit educational institution of higher education «Siberian Business and Information Technology Institute», Omsk, Russia

Чуприна Марина Васильевна, преподаватель правовых и общественных дисциплин, Автономная некоммерческая профессиональная образовательная организация «Омская академия экономики и предпринимательства», г. Омск, Россия

Marina V. Chuprina, Lecturer of law and social sciences, Autonomous non-profit professional education organization «Omsk Academy of Economics and Entrepreneurship», Omsk, Russia



ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 519.876.5

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-178-186

Методика обеспечения эффективности сети передачи данных горнодобывающего предприятия

Охрименко А.Г.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: okhrimenko@bsu.edu.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке методики обеспечения эффективности сети передачи данных горнодобывающего предприятия как методологической основы построения программно-технического комплекса научно-технической поддержки профильных подразделений горнодобывающего предприятия, ответственных за эксплуатацию сети передачи данных. Методика позволяет определить оптимальные режимы работы сети передачи данных для текущего состояния объекта автоматизации и для прогнозных изменений как объекта автоматизации, так и технологий (стандартов) построения сети передачи данных. Программно-техническая реализация предлагаемой методики может эксплуатироваться в профильных подразделениях горнодобывающего предприятия, ответственных за эксплуатацию сети передачи данных, учебных и научных коллективах, связанных с проблематикой построения и анализа телекоммуникационных сетей, а также для производителей автоматизированных систем для горнодобывающих предприятий в качестве испытательного полигона.

Ключевые слова: горнодобывающее предприятие, открытый карьер, автоматизированная система, сеть передачи данных, подвижные объекты, радиоканал, имитационная модель

Для цитирования: Охрименко А.Г. 2022. Методика обеспечения эффективности сети передачи данных горнодобывающего предприятия. Экономика. Информатика, 49(1): 178–186. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-178-186

Methodology for Providing the Efficiency of the Data Network of a Mining Enterprise

Aleksandr G. Okhrimenko

Belgorod State National Research University

85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: okhrimenko@bsu.edu.ru

Abstract. The article is aimed at developing a methodology to improve the efficiency of the data network of the mining enterprise as a methodological basis for the design of the software and hardware complex of scientific and technical support of the specialized departments of the mining enterprise, responsible for the operation of the data network. The methodology allows to determine the optimal modes of operation of the data network for the current state of the automation object and for predictable changes of both the automation object and the technology (standards) of the data network. The structure of the data network of the mining enterprise is given. The general structure of the simulation model is given. Considered use cases for the proposed methodology to optimize data network operation modes, for detection of "bottlenecks" and for the selection of technology for the building and modernization of the data network. Software and hardware implementation of the proposed methodology can be operated in the profile departments of the mining enterprise, responsible for operating the data network, educational and research teams associated with

the problems of construction and analysis of telecommunications networks, as well as for manufacturers of automated systems for mining enterprises as a testing ground.

Keywords: mining enterprise, open quarry, automated system, data network, moving objects, radio channel, simulation model

For citation: Okhrimenko A.G. 2022. Methodology for Providing the Efficiency of the Data Network of a Mining Enterprise. Information technologies, 49(1): 178–186 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-178-186

Введение

Одним из направлений автоматизации горно-металлургического комплекса является внедрение автоматизированных систем (АС) поддержки производственных процессов горнодобывающих предприятий (ГДП) с открытым способом добычи полезных ископаемых. Большегрузные машины, топливные заправщики, буровые станки, экскаваторы и другие подвижные объекты в открытых карьерах активно оснащаются системами видеонаблюдения и оповещения, средствами оперативной диагностики качества горной породы, мониторинга технического состояния оборудования и физиологического состояния сотрудников, задействованных в опасных производственных процессах. В последнее время в карьерах проводятся попытки запуска линий беспилотного транспорта [Клебанов, 2015]. Внедрение новых информационных и автоматизированных систем повышает требования к обмену данными с подвижными объектами, а следовательно требования к эффективности сети передачи данных (СПД) ГДП.

Как правило [Клебанов, 2015; Трубецкой и др., 2007; Клебанова, 2016], обмен данными с подвижными объектами в карьере организуется посредством УКВ и транкинговой радиосвязи, сетей стандартов GSM, WiFi (Mesh) и 4G LTE. Работа радиопередатчиков в карьере, как в закрытом горном ущелье, сопровождается явлениями переотражения и многолучевого распространения радиоволн, что создает в карьере неоднородное электромагнитное поле с ярко выраженными зонами интерференции. Указанные особенности приводят к искажению структуры радиосигналов, возникновению ошибок приема пакетов и, как следствие, к снижению показателей качества СПД.

С другой стороны, производственная деятельность в карьере связана с перемещением участков проведения взрывных работ и выработки горной массы, с изменением состава рабочих смен и, как следствие, с изменениями количества задействованных сил и средств, маршрутов движения горного транспорта, что сказывается на изменениях местоположения радиосредств подвижных объектов, а следовательно, на перераспределении электромагнитного поля в карьере по сравнению с таковым на момент развертывания СПД и проведения испытаний по контрольным примерам. Кроме того, на эффективность функционирования СПД в карьере оказывает влияние окружающая среда – климатический пояс, время года и погодные условия в районе расположения карьера, диэлектрические и магнитные свойства горной породы, наличие и расположение на горизонтах водных источников. Очевидно, что на коротком временном промежутке проведения приемо-сдаточных испытаний охватить всевозможные условия эксплуатации СПД затруднительно. Больше информации в этом плане дает опытная эксплуатация, но в большой длительности которой часто не заинтересован поставщик (интегратор) решения СПД. Фактически после периода опытной эксплуатации профильные подразделения ГДП полностью несут бремя поддержания эффективности СПД.

Анализ эффективности функционирования СПД в открытых карьерах показывает, что ГДП постоянно сталкиваются с вопросом обеспечения эффективности работы СПД и принимают усилия по улучшению работы развернутой СПД вплоть до модернизации СПД со сменой стандартов её построения, например, переходя с WiFi Mesh на стандарт 4G LTE. Однако, простая замена одного стандарта построения СПД на другой с более широкими возможностями не гарантирует эффективной работы СПД в условиях открытого карьера в силу вышеуказанного непрерывного перераспределения электромагнитного поля. В профильных



подразделениях ГДП, ответственных за эксплуатацию СПД, отсутствуют специалисты научно-технического уровня для разрешения проблем эффективности работы, внедренной СПД в условиях непрерывного перераспределения электромагнитного поля в карьере. С другой стороны, отсутствуют независимые специалисты по внедрению и модернизации СПД, так как обмен опытом о внедрениях СПД происходит либо по линии партнерских ГДП, либо по линии поставщиков (интеграторов) решения СПД. В первом случае, частный опыт одного ГДП не может быть основой для тиражирования решения СПД для конкретного карьера с его особенностями, а во втором случае, поставщик (интегратор) решения СПД заинтересован в продаже имеющегося у него решения, которое часто не адаптировано для использования применительно к особенностям конкретного карьера. Поэтому, как на этапе внедрения СПД, так и на этапе жизнедеятельности СПД на протяжении жизненного цикла карьера профильные подразделения ГДП, ответственные за эксплуатацию СПД, нуждаются в обоснованной независимой научно-технической поддержке в лице предприятий-поставщиков решений СПД и/либо научно-технических коллективов профильных вузов. Такая научно-техническая поддержка может быть основана на совокупности моделей СПД (цифрового двойника СПД) и системы поддержки принятия решения, реализованных в виде программно-технического комплекса для применения в профильных подразделениях ГДП. Для решения проблемы обеспечения эффективности СПД ГДП предлагается следующая методика, которую можно положить в основу функционирования программно-технического решения.

Методика обеспечения эффективности сети передачи данных

Суть методики

Методика обеспечения эффективности СПД ГДП состоит в:

1. разработке модели СПД ГДП;
2. оценке показателей качества СПД для возможных диапазонов изменения эксплуатационных параметров действующей СПД и окружающей среды;
3. определении режимов работы СПД для непротиворечивых наборов эксплуатационных параметров и параметров окружающей среды;
4. выработке рекомендаций по применению режимов работы в действующей СПД.

Этапы методики

Эффективность СПД ГДП достигается за счёт выполнения следующих этапов:

1. Анализа текущего состояния объекта автоматизации:
 - 1.1 3D конфигурации открытого карьера;
 - 1.2 расположения участков проведения взрывных работ и выработки горной массы;
 - 1.3 маршрутов движения подвижных объектов;
 - 1.4 состава, диэлектрических и магнитных свойств горной породы;
 - 1.5 размещения водных источников;
 - 1.6 источников и характеристик естественных и промышленных помех радиоприему.
2. Анализа действующей СПД:
 - 2.1 технологии (стандарта) построения;
 - 2.2 состава и характеристик оборудования;
 - 2.3 структуры СПД;
 - 2.4 типовых режимов работы;
 - 2.5 источников и потребителей трафика;
 - 2.6 параметров трафика;
 - 2.7 показателей качества работы СПД.
3. Анализа факторов, влияющих на показатели качества работы СПД:
 - 3.1 определение множества возможных влияющих факторов;

- 3.2 оценка степени влияния факторов на показатели качества СПД;
- 3.3 определение подмножества факторов, оказывающих существенное влияние на показатели качества СПД.
- 4 Разработка модели СПД.
- 5 Оценка показателей качества модели СПД для типовых режимов работы СПД и параметров окружающей среды.
- 6 Калибровка модели СПД для типовых режимов работы СПД по критерию соответствия качества модели СПД качеству действующей СПД.
- 7 Определение оптимальных режимов работы на модели СПД.
- 8 Выработка рекомендаций по применению оптимальных режимов работы в действующей СПД.
- 9 Сравнительный анализ показателей качества модели и действующей СПД для оптимальных режимов работы.
- 10 Повторение п. 6–9 для достижения соответствия показателей качества модели СПД показателям качества действующей СПД.
- 11 Управление оптимальными режимами работы на действующей СПД.
- 12 Повторение п. 1–11 для прогнозных оценок:
 - 12.1 изменения 3D конфигурации карьера;
 - 12.2 изменения производственных участков;
 - 12.3 изменения привлекаемых сил и средств;
 - 12.4 изменения маршрутов движения горного транспорта;
 - 12.5 изменения параметров окружающей среды;
 - 12.6 технологий (стандартов), структуры, состава построения СПД.

Вышеприведенная методика представлена 2 частями: 1) для текущего состояния объекта автоматизации и 2) для прогнозного состояния этого объекта автоматизации, что позволяет организовать процесс адаптации СПД ГДП к изменениям, которые будут происходить на жизненном цикле открытого карьера. Производственные параметры объекта автоматизации имеют некое управляющее воздействие на электромагнитные параметры карьера, которое описывается сложной функцией, поэтому прямой расчёт электромагнитного поля, создаваемого радиопередатчиками в объеме карьера, представляет собой сложную задачу, решение которой целесообразно заменить учётом влияния объекта автоматизации на сигнально-помеховую обстановку в карьере, воздействующую на радиоприемные устройства СПД.

Структура сети передачи данных

В состав СПД ГДП входит бортовое оборудование подвижных объектов с передающей и приемной радиоаппаратурой, точки радиодоступа (базовые станции) сети доступа, собственно сеть доступа, пограничные маршрутизаторы сети предприятия и сама сеть предприятия, в которой размещены сервера АС и потребители данных от подвижных объектов (рис. 1). Обмен данными с подвижными объектами организуется посредством радиоканалов. Передача данных в сети доступа может быть организована как посредством радиоканалов, так и, частично, проводных (оптических) линий связи. Обмен данных в сети предприятия, как правило, организуется по проводным (оптическим) линиям связи.



Рис. 1. Структура сети передачи данных горнодобывающего предприятия

Fig. 1. The structure of the data network of the mining enterprise



Анализ представленной структуры показывает, что неблагоприятному воздействию естественных и промышленных помех подвергаются радиоканалы подвижных объектов и узлов сети доступа, включая точки доступа (базовые станции). Неблагоприятное воздействие факторов, влияющее на изменение электромагнитного поля в объеме карьера, целесообразно учитывать в характеристиках сигнально-помеховой обстановки, воздействующих на радиоканалы, например, в уровнях битовых ошибок [Okhrimenko, 2021].

Модель сети передачи данных

Существенную трудность в реализации предложенной методики представляет разработка модели СПД. В [Okhrimenko, 2021] показано, что для открытого карьера разработка аналитической модели СПД представляет собой сложную научную задачу в силу сложности аналитического описания сигнально-помеховой обстановки в карьере и предлагается использовать метод имитационного моделирования [Шеннон, 1978] для построения имитационной модели СПД, учитывающей существенные факторы, влияющие на эффективность работы СПД. В [Okhrimenko, 2021] предложена простейшая имитационная модель СПД и проведена оценка показателей качества обмена данными с подвижными объектами и серверами АС ГДП для типового варианта рабочей смены.

Разработка имитационной модели СПД может быть начата с анализа существующей СПД ГДП, либо СПД иного ГДП со сходными параметрами объекта автоматизации. Для этого необходимо представить описание СПД ГДП ω в виде схем, таблиц экспериментальных и эксплуатационных данных, таблиц режимов работы и настроек $\theta^T = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_L]$, данных окружающей среды $\zeta^T = [\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_K]$ в виде полной (начальной) моделью СПД $\mu(\alpha)$, где $\alpha^T = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N]$ – параметры модели. Начальная модель СПД $\mu(\alpha)$ при определенных условиях представима упрощенной моделью $\mu^*(\alpha^*)$, где $\alpha^{*T} = [\alpha^*_1, \alpha^*_2, \dots, \alpha^*_{N^*}]$ – параметры упрощенной модели, которая в свою очередь может быть представлена совокупность следующих моделей [Okhrimenko, 2021]:

1. модели подвижного объекта $\mu^*_{\text{по}}(\alpha^*_{\text{по}})$, где $\alpha^*_{\text{по}}$ – параметры модели подвижного объекта;
2. модели радиоканала $\mu^*_{\text{рк}}(\alpha^*_{\text{рк}})$, где $\alpha^*_{\text{рк}}$ – параметры модели радиоканала;
3. модели сигнально-помеховой обстановки $\mu^*_{\text{спо}}(\alpha^*_{\text{спо}})$, где $\alpha^*_{\text{спо}}$ – параметры модели сигнально-помеховой обстановки;
4. модели сети доступа $\mu^*_{\text{сд}}(\alpha^*_{\text{сд}})$, где $\alpha^*_{\text{сд}}$ – параметры модели сети доступа;
5. модели узла (сервера) АС $\mu^*_{\text{с}}(\alpha^*_{\text{с}})$, где $\alpha^*_{\text{с}}$ – параметры модели узла (сервера) АС;
6. модели сети предприятия $\mu^*_{\text{сп}}(\alpha^*_{\text{сп}})$, где $\alpha^*_{\text{сп}}$ – параметры модели сети предприятия.

Показано [Okhrimenko, 2021], что показатели качества функционирования СПД ГДП $Q_{\omega}(\theta, \zeta)$ представимы соответствующими показателями качества модели СПД $Q_{\mu^*}(\theta, \zeta)$, что позволяет применить рациональные предположения и допущения относительно СПД ГДП при разработке имитационной модели СПД и её упрощении.

Калибровка модели сети передачи данных

Для обеспечения непротиворечивости оценок показателей качества СПД необходима калибровка модели СПД, которая должна происходить на объекте автоматизации с учётом реальных производственных параметров и параметров окружающей среды. Схема калибровки модели СПД приведена на рис. 2.

Имитационная модель СПД будет считаться откалиброванной при условии соответствия показателей качества модели СПД $Q_{\mu^*}(\theta, \zeta)$ показателям качества действующей СПД $Q_{\omega}(\theta, \zeta)$ при условии равенности режимов работы и параметров окружающей среды как для модели, так и для реальной СПД. Возможна калибровка модели СПД для непересекающихся

подмножеств, на которые возможно разбить множество параметров СПД θ и параметров окружающей среды ζ .

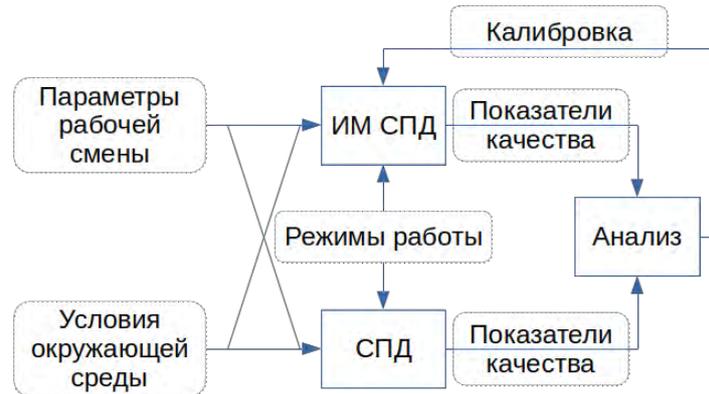


Рис. 2. Калибровка имитационной модели (ИМ) СПД
Fig. 2. Calibrating the data network simulation model

Варианты использования методики обеспечения эффективности СПД ГДП

В [Okhrimenko et al., 2021] предложены некоторые направления применения имитационной модели СПД как для профильных подразделений ГДП, так и для производителей АС для ГДП. Уточним предложенные направления в виде вариантов использования модели СПД в профильных подразделениях ГДП с учётом разработанной методики:

1. Вариант использования «Оптимизация режимов работы СПД» (рис. 3).

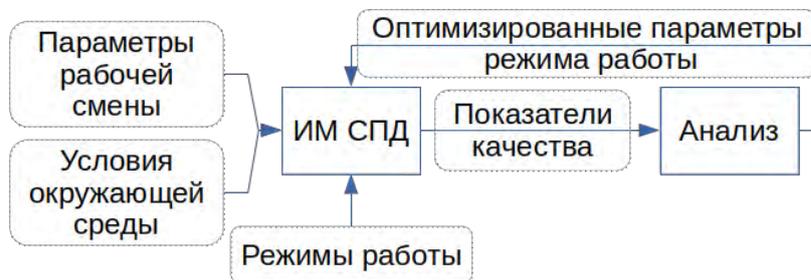


Рис. 3. Оптимизация режимов работы СПД с помощью имитационной модели (ИМ)
Fig. 3. Optimization of data network operation modes using a simulation model

В данном варианте использования определяются показатели качества имитационной модели СПД для различных комбинаций производственных параметров и параметров окружающей среды, типичных для данного ГДП. Производится анализ полученных показателей качества для каждого режима работы СПД и производится отбор наиболее подходящих режимов работы СПД по заданным критериям. Создается банк данных оптимальных параметров режимов работы СПД с инструкциями по действиям сотрудников профильных подразделений ГДП. Режимы работы СПД с оптимизированными параметрами фактически для заданных условий эксплуатации являются штатными режимами работы СПД.

2. Вариант использования «Обнаружение «узких мест» СПД» (рис. 4).

Представляет особый интерес определение поведения СПД в условиях внештатных режимов работы, которые могут возникать вследствие отказов узлов СПД, воздействия техногенных и природных факторов, которые не типичны для обычных условий эксплуатации СПД. Как правило, переход СПД во внештатный режим работы является неожиданным как для сотрудников эксплуатирующих СПД, так и для персонала и узлов АС, использующих СПД. Поэтому имитация работы СПД в аварийных ситуациях позволит оценить граничные

возможности СПД, повысить осведомленность и стрессоустойчивость сотрудников ГДП по действиям в нетипичных ситуациях.

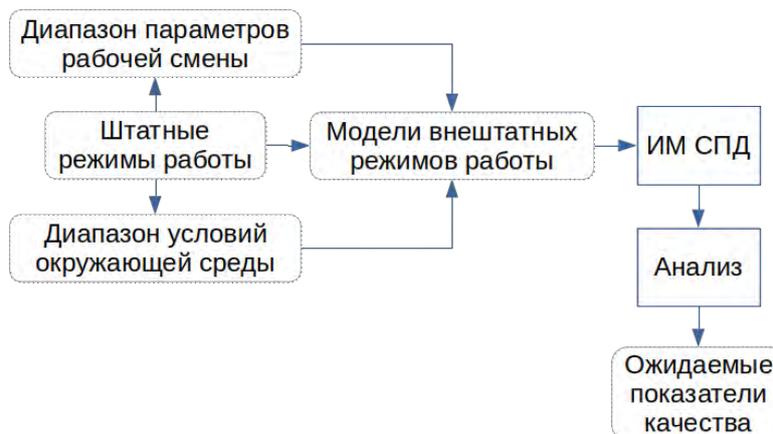


Рис. 4. Процесс обнаружения «узких мест» СПД
Fig. 4. Data network bottleneck detection process

3. Вариант использования «Подбор технологий построения/модернизации СПД» (рис. 5).



Рис. 5. Процесс подбора технологии построения/модернизации СПД
Fig. 5. The process of selecting technology for building and modernizing the data network

В данном варианте использования для прогнозируемых изменений параметров объекта автоматизации определяются показатели качества имитационных моделей СПД, соответствующих различным технологиям построения СПД, например, WiFi, WiFi Mesh, 4G LTE, Mobile Ad Hoc. На основе сравнительного анализа подбирается такая технология построения СПД, показатели качества которой будут обеспечивать эффективное функционирование информационных и автоматизированных систем объекта автоматизации. В результате такого использования методики сотрудники профильных подразделений СПД получают необходимые знания и ожидаемые оценки эффективности СПД для рационального выбора направлений построения/модернизации СПД.

Разработанная методика не ограничивается вышеприведенными вариантами использования и может использоваться учебными и научными коллективами, связанными с проблематикой построения и анализа телекоммуникационных сетей, для построения виртуальных лабораторий, а также производителями АС ГДП для построения испытательных полигонов для проведения интеграционных испытаний программно-технических комплексов. Вариант реализации имитационной модели СПД для ГДП с помощью дискретного имитатора NS-3 [NS-3, 2021] с вариацией типовых параметров рабочей смены приведен в [Охрименко, 2021].

Заключение

Обеспечение эффективности работы СПД ГДП является актуальной задачей на всем жизненном цикле объекта автоматизации – открытого карьера. Для решения задачи обеспечения эффективности работы СПД ГДП в постоянно меняющихся условиях работы радиоборудования подвижных объектов предложена методика обеспечения эффективности СПД ГДП, которая позволяет определить оптимальные режимы работы СПД как для текущего состояния объекта автоматизации, так и для прогнозных изменений и объекта автоматизации, и технологий (стандартов) построения СПД. Разработанная методика обеспечения эффективности работы СПД ГДП может стать основой построения программно-технического комплекса научно-технической поддержки профильных подразделений ГДП. Внедрение и эксплуатация такого программно-технического комплекса позволит профильным подразделениям ГДП обеспечить эффективную эксплуатацию СПД в постоянно изменяющихся условиях жизнедеятельности объекта автоматизации, повысить осведомленность сотрудников по действиям в штатных и внештатных случаях, а также изучить возможности различных технологий (стандартов) построения СПД (без покупки таковых), что снизит издержки ГДП при модернизации СПД. Указанный подход позволит научно обосновать требования к СПД для конкретного карьера, провести сравнительный анализ доступных на рынке технологий построения СПД (без покупки таковых) для типовых условий эксплуатации и внештатных случаев, подобрать приемлемые для построения/модернизации технологии, а также разработать и испытать новые технологий построения СПД; предоставить требования к СПД для предприятий-производителей СПД в виде апробированных моделей.

Список литературы

- Клебанов Д.А. 2015. Разработка технико-технологических решений по созданию и применению роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва: Институт проблем комплексного освоения недр российской академии наук, 145.
- Клебанова И.В. 2016. Применение систем радиосвязи для оперативного управления горнотранспортными комплексами в карьерах. Труды МАИ. Вып. № 89. Available at: http://trudymai.ru/upload/iblock/fb4/klebanova_rus.pdf (date of the application: 21.12.2021).
- Охрименко А.Г. 2021. Имитационная модель сети передачи данных горнодобывающего предприятия. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021680002, 06.12.2021. Заявка № 2021669660 от 03.12.2021 г.
- Трубецкой К.Н., Кулешов А.А., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. 2007. Современные системы управления горнотранспортными комплексами / Под ред. акад. РАН К.Н. Трубецкого. СПб: Наука, 306.
- Шеннон Р. 1978. Имитационное моделирование систем – искусство и наука: Пер. с англ. Издательство «Мир», 424.
- NS-3. 2021. Available at: <https://www.nsnam.org/> (date of the application: 21.12.2021).
- Okhrimenko A.G. 2021. Data Network Simulation Model of a Mining Enterprise. 2021 IEEE 15th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), 13-15 October 2021, Baku, Azerbaijan. DOI: 10.1109/AICT52784.2021.9620267.
- Okhrimenko A.G., Lazarev S.A., Polshchikov K.A., Rubcov K.A., Kiselev V.E. 2021. Simulation model of the data transmission system as a means of increasing the efficiency of the automated control system of the mining and transportation complex. Semnan University International Journal of Nonlinear Analysis and Applications (IJNAA). Articles in Press. DOI: 10.22075/ijnaa.2021.25015.2885.

References

- Klebanov D.A. 2015. Development of technical and technological solutions for the creation and application of robotic cargo transportation systems in open-pit mining. Dissertations for the degree of Candidate of Technical Sciences. Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS. (In Russian)



- Klebanova I.V. 2016. Application of radio communication systems for operational management of mining and transport complexes in quarries. Proceedings of the MAI, 89. Available at: http://trudymai.ru/upload/iblock/fb4/klebanova_rus.pdf (date of the application: 21.12.2021). (In Russian)
- Okhrimenko A.G., Lazarev S.A., Polshchikov K.A., Rubcov K.A., Kiselev V.E. 2021. Simulation model of the data transmission system as a means of increasing the efficiency of the automated control system of the mining and transportation complex. Semnan University International Journal of Nonlinear Analysis and Applications (IJNAA). Articles in Press. DOI: 10.22075/ijnaa.2021.25015.2885. (In Russian)
- Trubetskoy K.N., Kuleshov A.A., Klebanov A.F., Vladimirov D.Ya. 2007. Modern management systems of mining and transport complexes. Saint Petersburg: Nauka, 306. (In Russian)
- Robert E. Shannon. 1978. Systems Simulation: The Art and Science. Trans. from English. Mir Publishing House. (In Russian)
- NS-3. 2021. Available at: <https://www.nsnam.org/> (date of the application: 21.12.2021).
- Okhrimenko A.G. 2021. Data Network Simulation Model of a Mining Enterprise. 2021 IEEE 15th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), 13-15 October 2021, Baku, Azerbaijan. DOI: 10.1109/AICT52784.2021.9620267.
- Okhrimenko A.G. 2021. Data Network Simulation Model of a Mining Enterprise. Registration certificate RU 2021680002, 06.12.2021. Application No. 2021669660 dated 03.12.2021.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Охрименко Александр Григорьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник учебно-научной лаборатории информационно-измерительных и управляющих комплексов и систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Alexander G. Okhrimenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Educational and Scientific Laboratory of Information-Measuring and Control Complexes and Systems, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 004.02,004.4

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-187-194

Реализация алгоритма стабилизации изображения на программируемой логической интегральной схеме

¹⁾ Маслаков Ю.Н., ²⁾ Урсол Д.В.

¹⁾ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,
Россия, 127422, Москва, ул. Тимирязевская, 49

²⁾ ООО «Промышленные электронные системы»,
Россия, 308000, Белгород, ул. Михайловское шоссе, 121а
E-mail: maslakov.yn@gmail.com, ursoldenis@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается реализация алгоритма стабилизации изображения на основе суммы абсолютных разностей между областями соседних кадров. Находится относительное и абсолютное смещение между кадрами за минимальный интервал времени между зонами интереса. Обработка информации осуществляется параллельно в 16 потоков для минимизации времени задержки, а также предложена альтернативная версия алгоритма с использованием вейвлет Хаара и оператора Собеля, что позволяет повысить основные характеристики алгоритма и уменьшить влияние шумов на изображении и оптических искажений. Проведена оценка требуемых ресурсов для возможности запуска разработанного алгоритма на программируемой логической интегральной схеме.

Ключевые слова: стабилизация изображения, относительное смещение кадра, программируемая логическая интегральная схема, вейвлет Хаара, оператор Собеля

Для цитирования: Маслаков Ю.Н., Урсол Д.В. 2022. Реализация алгоритма стабилизации изображения на программируемой логической интегральной схеме. Экономика. Информатика, 49(1): 187–194. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-187-194

Implementation of image stabilization algorithm on a programmable logic integral circuit

¹⁾ Yuri N. Maslakov, ²⁾ Denis V. Ursol

¹⁾ RSAU – MTAA named after K.A. Timiryazev,
49 Timiryazevskaya St, Moscow, 127422, Russia

²⁾ Industrial Electronic Systems LLC,
121a Mikhailovskoe shosse St, Belgorod, 308000, Russia
E-mail: maslakov.yn@gmail.com, ursoldenis@mail.ru

Abstract. This article discusses the implementation of an image stabilization algorithm based on the sum of absolute differences (SAD) between areas of adjacent frames. The relative and absolute displacement between frames is found for the minimum time interval between areas of interest. Information processing is carried out in parallel in 16 streams to minimize the delay time, and an alternative version of the algorithm is proposed using the Haar wavelet and the Sobel operator, which improves the main characteristics of the algorithm and reduces the effect of image noise and optical distortion. Increasing the number of free cycles of the algorithm allows you to increase the size of the substrate and the size of the target, which increases the stability of the algorithm. An assessment of the required resources for the possibility of running the developed algorithm on a programmable logic integrated circuit (FPGA) has been implemented on Cyclone V. The article shows the functional blocks and the main functions of the algorithm execution.

Keywords: image stabilization, relative frame shift, programmable logic integrated circuit, Haar wavelet, Sobel operator



For citation: Maslakov Yu.N., Ursol D.V. 2022. Implementation of image stabilization algorithm on a programmable logic integral circuit. *Economics. Information technologies*, 49(1): 187–194 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-187-194

Для интерактивных задач, таких как управление роботизированными передвижными системами, необходимо стабильное видеоизображение. Режим стабилизации должен сглаживать быстрые движения и вибрацию, не искажая ориентацию камеры. Другое применение – это охрана различных объектов. При установке камер с небольшим углом обзора на высоте от сильных порывов ветра камеру непрерывно трясет, что ощутимо сказывается на качестве изображения. Для постоянного наблюдения за объектом при помощи таких камер оператору необходима стабилизация видеоизображения в реальном масштабе времени. Цифровые методы позволяют уменьшить габариты и стоимость оптико-электронной системы за счет отказа от использования гиросtabilизированных платформ или снижения требований к ним, что является актуальным для беспилотных летательных аппаратов и малоразмерных мобильных роботов. Цифровая стабилизация незаменима, когда требуется осуществить стабилизацию ранее снятого видео, т. е. выполнить его пост-обработку [Pan Z. etc., 2005, Солдатов и др., 2006].

Дополнительно полезной функцией стабилизации изображения будет блокирование ориентации камеры в заданном направлении. Например, в режиме слежения такая функция позволит камере с широким углом обзора следовать за траекторией GPS [Yang J. etc., 2009, Lin C. etc., 2009].

Целью разработки является реализация алгоритма непрерывной стабилизации изображения, который осуществляет компенсацию движения камеры за очень короткий промежуток времени. В этой связи реализация алгоритма стабилизации на программируемой логической интегральной схеме становится наиболее актуальной.

Алгоритм стабилизации основан на оценке локального смещения соседних кадров. Оценка смещения основана на метрике суммы абсолютной разности (SAD) выбранных областей кадров между всеми пикселями. Выбирается область, по которой смещается цель, полученная на прошлом кадре, и при каждом сдвиге на пиксель находится наименьшая сумма абсолютной разности. От выбранного размера цели зависит устойчивость системы к шумам при обнаружении смещения и величина относительного смещения между кадрами. К недостаткам данного метода можно отнести: ограниченный диапазон сдвига между кадрами, при монотонной информации в области возрастает вероятность ошибки оценки смещения кадров, захват уникальной цели и следование смещения за объектом в кадре. По сравнению с алгоритмами глобального смещения, данный метод обладает меньшим требованием к вычислительным ресурсам и меньшей кадровой задержкой для получения оценок смещения. Данный алгоритм реализован на ПЛИС с характеристиками, представленными в таблице 1.

Таблица 1
Table 1

Характеристика реализованного алгоритма на ПЛИС
 Characteristics of the implemented algorithm on the FPGA

Исходное разрешение	1280x900;
Разрядность пикселя	8 бит (ч/б)
Кадров в секунду	50
Задержка	24 мс;
Частота работы блока	до 100 МГц
Диапазон стабилизации	±36 пикселей
Подложка	135x135
Размер области оценки каждого потока	81x81
Размер области цели	64x64

Из исходного изображения размером 1280x900 по центру кадра выбирается область размером 320x240, которая подается на вход алгоритма стабилизации. При этом каждый кадр записывается в один из 3 буферов оперативной памяти (DDR). Алгоритм стабилизации работает не со всей областью 320x240, а только с ее частью размером 135x135 (по центру), называемой подложкой. Уникальность алгоритма заключается в том, что подложка разбивается на 16 равных секторов и формируют сетку 4x4. Каждая область обрабатывается независимо друг от друга и далее общий результат обрабатывается повторно. Разбивка на подложки делается для ускорения процесса расчета относительного сдвига кадров. Центр оси смещения задается относительно 11 сектора по порядковому номеру. Цель «пробегает» всю подложку с шагом 1 пиксель по x и по y (рисунок 1).

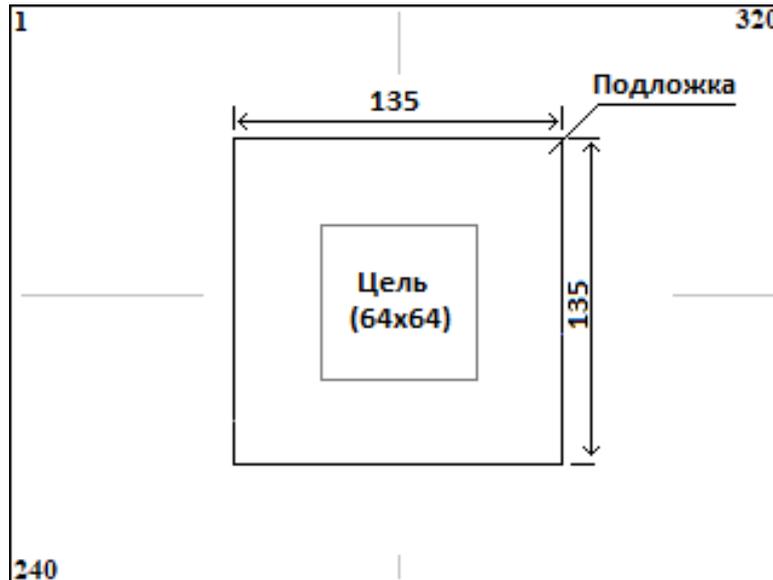


Рис. 1. Разделение исходного кадра на подложку и цель
Fig. 1. Separation of the source frame into a substrate and a target

На текущем кадре запоминается цель, а на следующем кадре ищется расположение запомненной цели на подложке для данного кадра. Минимальное значение суммы абсолютной разницы показывает относительное смещение текущего кадра относительно прошлого. Обновление значений цели происходит после нахождения относительного смещения кадра. Метрика суммы абсолютной разницы для одной ячейки имеет вид:

$$SAD_{x,y} = \sum_{i,j=1}^N |X_{ij} - ROI_{i+x,j+y}|, \quad (1)$$

где, X_{ij} – пиксель цели; $ROI_{i+x,j+y}$ – пиксель зоны интереса смещенного на x, y значений, $i, j \in \{1, 2, \dots, N\}$ – номер строки и столбца зоны анализа, N – размер области интереса.

Реализация алгоритма включает параллельную обработку каждого сектора, таким образом выбирается наименьшее значение среди каждого потока обработки и фиксируется номер потока и значения сдвига в этом потоке:

$$S = \min_t \left(\min_{x,y} (SAD_{x,y}^t) \right), \quad (2)$$

где S – наименьшее значение абсолютной суммы разностей между всеми сдвигами и каждой ячейки параллельного потока, $t \in \{1, 2, \dots, 16\}$ – номер потока.

Таким образом, формируется относительный сдвиг кадра, и значения переводятся в абсолютные. После, к абсолютным сдвигам применяется функция сдвига к оптической оси, ко-

торая, во-первых, не позволяет значениям абсолютных сдвигов выйти за допустимый диапазон, а во-вторых, стремится привести значения абсолютных сдвигов к нулевым значениям.

Размеры подложки, ROI, цели, а также максимальное значение сдвига, правильно определяемое алгоритмом, связаны следующими соотношениями:

$$x_{max}, y_{max} = \pm 2 * (ROI - X + 1), \quad (3)$$

$$P = ROI + 3 * (ROI - X + 1), \quad (4)$$

где X – размер цели, у которой ширина и высота равны, ROI – размер зоны интереса, P – размер подложки, которая разбивается на ячейки для независимой обработки.

При этом для выдачи результата оценочно требуется следующее количество тактов

$$X^2 * (ROI - X + 1)^2. \quad (5)$$

Так как число кадров в секунду фиксировано и равно 50, то между кадрами максимальный интервал составляет 20 мс, и тогда на частоте 100 МГц получаем 2М тактов на вычисление сдвига между кадрами. Схематично данное временное окно представлено на рисунке 2.

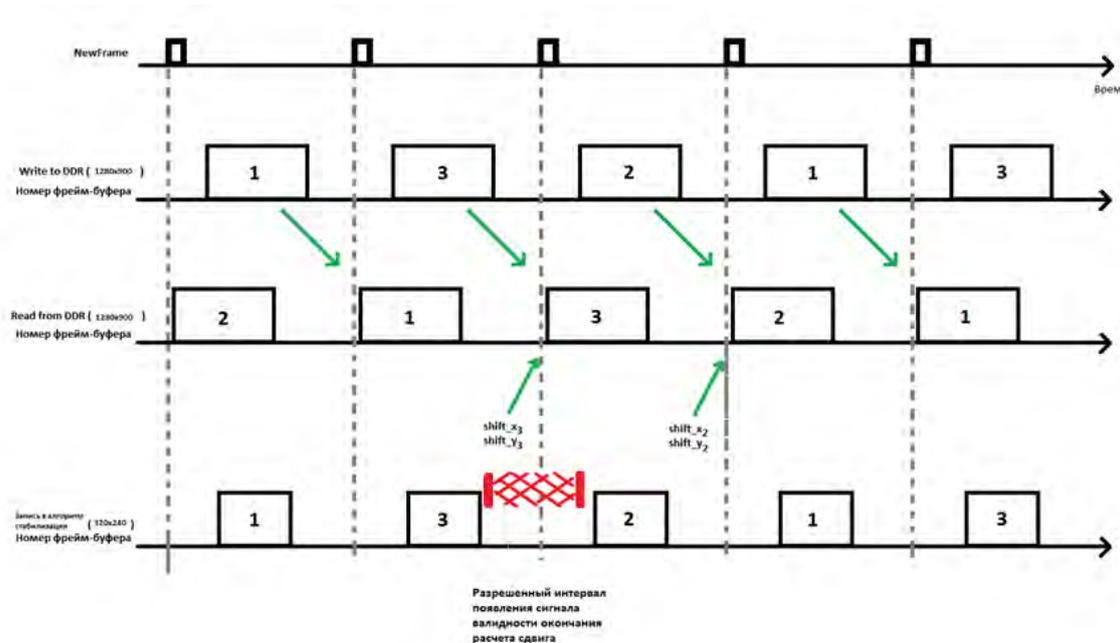


Рис. 2. Разрешенный временной интервал расчета относительного сдвига между кадрами
 Fig. 2. Allowed time interval for calculating the relative shift between frames

Для повышения качества работы алгоритма требуется увеличивать размеры цели и подложки. Чем больше цель, тем меньше влияние шумов и больше уникальности полученной оценки. Размер подложки влияет на допустимые значения относительного сдвига соседних кадров. Увеличение размеров областей для получения оценок влечет за собой увеличение необходимого количества тактов на расчет и ресурсы FPGA. Сокращение времени вычисления оценок удалось решить путем распараллеливания вычисления на 16 независимых потоков, однако увеличилось количество используемых ресурсов.

На рисунке 3 представлена общая архитектура алгоритма стабилизации изображения с минимальной задержкой и параллельной реализацией потоков на ПЛИС. Оператор Собеля для нахождения контура на изображении повышает уникальность изображения цели перед модулем стабилизации.

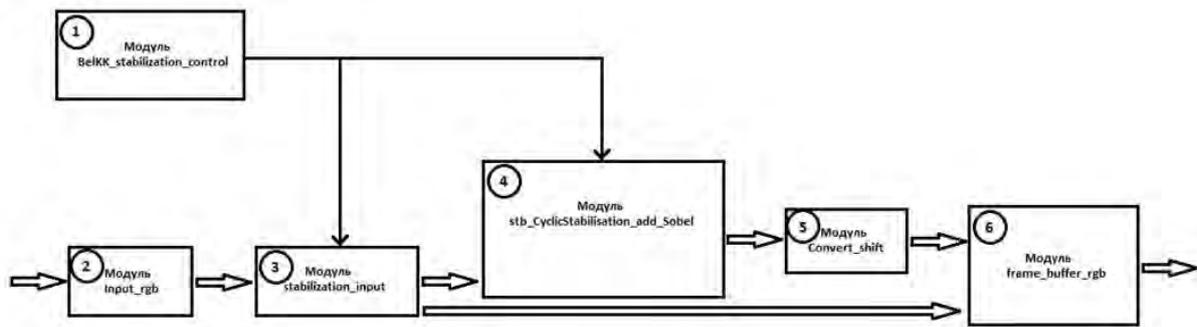


Рис. 3. Архитектура подсистемы стабилизации на ПЛИС
Fig. 3. Architect of the stabilization subsystem on the FPGA

Архитектура подсистемы состоит из:

1. модуля программного управления IP-ядром (алгоритм стабилизации, включение оператора Собеля);
2. модуля приема входного потока, преобразования RGB в оттенки серого и объединения данных RGB и оттенков серого;
3. модуля разделения данных для алгоритма стабилизации (часть исходного изображения в оттенках серого) и модуля обмена данными с DDR памятью (исходное изображение);
4. модуля алгоритма стабилизации;
5. модуля преобразования знаковых адресов в беззнаковые для чтения из DDR памяти;
6. модуля обмена данными с DDR памятью (запись кадров и чтение кадров с соответствующими сдвигами).

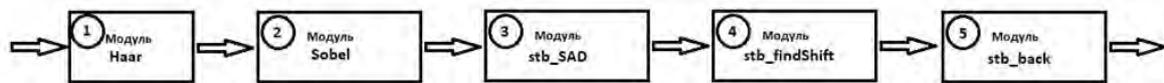


Рис. 4. Архитектура модуля CyclicStabilisation_add_Sobel
Fig. 4. Architect of the module CyclicStabilisation_add_Sobel

Модуль CyclicStabilisation_add_Sobel состоит из следующих модулей:

1. модуля вейвлет преобразования (вейвлет Хаара). В результате преобразования используются только коэффициенты аппроксимации cA ;
2. модуля выделения контуров на изображении на основе оператора Собеля;
3. модуля организации процессов вычисления «корреляции» между целью и ROI;
4. модуля вычисления относительных (между соседними кадрами) сдвигов на основе поиска минимума оценки от предыдущего модуля;
5. модуля возвращения смещения к центру изображения (оптической оси).

Модуль stb_SAD состоит из следующих модулей:

1. модуля FIFO для повышения тактовой частоты работы модуля;
2. модуля формирования потока данных для каждого из 16-ти ROI;
3. модуля преобразования пикселей в параллель (далее 2 пикселя обрабатываются параллельно);
4. модуля памяти для хранения ROI;
5. модуля формирования адресов чтения ROI и Target;
6. модуля памяти для хранения Target;
7. модуля оценки корреляции между участком ROI и Target;
8. модуля FIFO для понижения тактовой частоты.

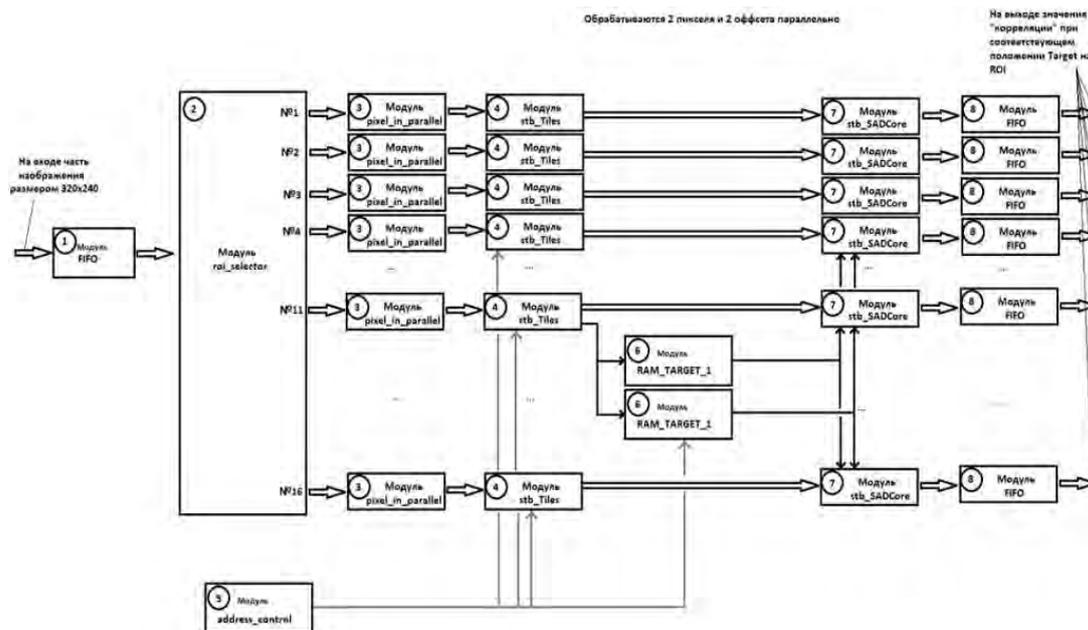


Рис. 5. Архитектура модуля stb_SAD
 Fig. 5. Architect of the module stb_SAD

Предварительная вейвлет-обработка, повышение тактовой частоты работы модуля и обработка нескольких пикселей параллельно позволяет оптимально использовать ресурсы ПЛИС и увеличить производительность реализованного алгоритма. Улучшенные характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2
 Table 2

Улучшенные характеристики реализованного алгоритма на ПЛИС
 Improved characteristics of the implemented algorithm on FPGA

Исходное разрешение	1280x900;
Разрядность пикселя	8 бит (ч/б)
Кадров в секунду	50
Задержка	24 мс;
Частота работы блока	160 МГц
Диапазон стабилизации	±50 пикселей
Подложка	199x199
Размер области оценки каждого потока	124x124
Размер области цели	100x100

Для данных значений параметров алгоритма потребуется следующее количество тактов:

$$\left(\frac{100}{2} + 1\right) * 100 * \left(\left\lceil\frac{25}{2}\right\rceil + 1\right) * 25 = 1\,657\,500 \text{ тактов.} \quad (6)$$

При этом необходимые ресурсы для интеграции улучшенного алгоритма на ПЛИС представлены в таблице 3.

В алгоритме были реализованы следующие уникальные подходы:

1. Предварительная вейвлет-обработка изображения. Один уровень преобразования, вейвлет Хаара. В результате преобразования использовались только коэффициенты аппроксимации (сА) или другими словами, использовалось изображение, уменьшенное в 2 раза относительно исходного. Данный подход позволяет увеличить диапазон возможных сдвигов изображения в 2 раза.

2. Обработка изображения оператором Собеля. Данный подход позволяет осуществлять последующий поиск минимума метрики с меньшим влиянием шума.
3. Повышение тактовой частоты работы модуля `stb_SAD`. Данный подход позволяет увеличить значения параметров модели алгоритма стабилизации, таких как размер ROI и цели.
4. Обработка нескольких пикселей параллельно при нахождении значения метрики (1). Текущая реализация заключается в обработке 2 пикселей и 2 сдвигов по оси x одновременно. Данный подход также позволяет увеличить значения параметров модели алгоритма стабилизации (значения ROI и цели).

Таблица 3
Table 3

Требуемые ресурсы ПЛИС для реализации алгоритма
Required FPGA resources to implement the algorithm

ALMs	Registers	Memory bits	M10K	DSP
5000	9800	2482400	334	0

Список литературы

- Солдатов С.А., Стрельников К.Н., Ватолин Д.С. 2006. Быстрое и надежное определение глобального движения в видеопоследовательностях. Труды конференции “Graphicon-2006”. С. 430–437.
- Bakstein H., Pajdla T. 2002. Panoramic mosaicing with a 180 field of view lens Omnidirectional Vision. Proceedings. Third Workshop on. pp. 60–67.
- Chernomorets D., Golikov V., Balabanova T., Prokhorenko E., Bolgova E., Chernomorets A. 2021. Correlation properties of sea surface images on video stream frames. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications
- Ertürk S. 2002. Real-time digital image stabilization using Kalman filters. Real-Time Imaging. 8: 317–328.
- Guohe Z., Zejie K., Sufen W., Kai H., Feng L., Cheng Y. 2018. Hardware implementation for an improved full-pixel search algorithm based on normalized cross correlation method. Electronics, 7, 428.
- Lin C., Hong C. 2009. Real-Time Digital Image Stabilization System Using Modified Proportional Integrated Controller. IEEE Transactions. Circuits and Systems for Video Technology. 19 (3): 427–431.
- Litvin A., Konrad J. 2003. Probabilistic video stabilization using Kalman filtering and mosaicking. Proc. of SPIE Electronic Imaging, 2003. 5022: 663–674.
- Liu Y., Zhang J., Gao J. 2013. Panoramic technique in the video monitoring system and Implementation. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering. Vol. 11, pp. 91–96.
- Lowe D. 2004. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of Computer Vision.
- Pan Z., Ngo C. 2005. Selective Object Stabilization for Home Video Consumers. IEEE Transactions on Consumer Electronics. 51(4): 248–253.
- Sharif Shah Newaj Bhuiyan, Othman O. Khalifa. 2018. Robust Automatic Multi-Camera Viewpoint Stabilization using Harris Laplace corner detection and Spanning Tree. 7th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE)
- Thibault S., Artonne J. 2006. Panomorph lenses: a low-cost solution for panoramic surveillance. Defense and Security Symposium. International Society for Optics and Photonics.
- Wang X., Wu K., Cheng Y. 2013. Research on Virtual 3D Station based on Images. Applied Mathematics & Information Sciences. 7(1L): 225–231.124.
- Xu C., Bai Y. 2017. Implementation of Harris corner matching based on FPGA. 6th International Conference on Energy and Environmental Protection (ICEEP 2017), Advances in Engineering Research (AER), volume 143.
- Yang J., Schonfeld D. 2009. Video Stabilization based on particle filter tracking of projected camera motion. IEEE Transection. Circuits and Systems for Video Technology. 19(7): 945–954.



References

- Soldatov S.A., Strelnikov K.N., Vatolin D.S. 2006. Fast and reliable determination of global motion in video sequences. Proceedings of the conference “Graphicon-2006”. pp. 430–437.
- Bakstein H., Pajdla T. 2002. Panoramic mosaicing with a 180 field of view lens Omnidirectional Vision. Proceedings. Third Workshop on. pp. 60–67.
- Chernomorets D., Golikov V., Balabanova T., Prokhorenko E., Bolgova E., Chernomorets A. 2021. Correlation properties of sea surface images on video stream frames. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications
- Ertürk S. 2002. Real-time digital image stabilization using Kalman filters. Real-Time Imaging. 8: 317–328.
- Guohe Z., Zejie K., Sufen W., Kai H., Feng L., Cheng Y. 2018. Hardware implementation for an improved full-pixel search algorithm based on normalized cross correlation method. Electronics, 7, 428
- Lin C., Hong C. 2009. Real-Time Digital Image Stabilization System Using Modified Proportional Integrated Controller. IEEE Transactions. Circuits and Systems for Video Technology. 19 (3): 427–431.
- Litvin A., Konrad J. 2003. Probabilistic video stabilization using Kalman filtering and mosaicking. Proc. of SPIE Electronic Imaging. 2003. 5022: 663–674.
- Liu Y., Zhang J., Gao J. 2013. Panoramic technique in the video monitoring system and Implementation. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering. 11: 91–96.
- Lowe D. 2004. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of Computer Vision.
- Pan Z., Ngo C. 2005. Selective Object Stabilization for Home Video Consumers. IEEE Transactions on Consumer Electronics. 51(4): 248–253.
- Sharif Shah Newaj Bhuiyan, Othman O. Khalifa. 2018. Robust Automatic Multi-Camera Viewpoint Stabilization using Harris Laplace corner detection and Spanning Tree. 7th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCCE)
- Thibault S., Artonne J. 2006. Panomorph lenses: a low-cost solution for panoramic surveillance. Defense and Security Symposium. International Society for Optics and Photonics.
- Wang X., Wu K., Cheng Y. 2013. Research on Virtual 3D Station based on Images. Applied Mathematics & Information Sciences. 7(1L): 225–231.124.
- Xu C., Bai Y. 2017. Implementation of Harris corner matching based on FPGA. 6th International Conference on Energy and Environmental Protection (ICEEP 2017), Advances in Engineering Research (AER), volume 143.
- Yang J., Schonfeld D. 2009. Video Stabilization based on particle filter tracking of projected camera motion. IEEE Transection. Circuits and Systems for Video Technology. 19(7): 945–954.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Маслаков Юрий Николаевич, младший научный сотрудник, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

Урсол Денис Владимирович, кандидат технических наук, инженер-программист, ООО «Промышленные электронные системы», г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuri N. Maslakov, Junior Researcher, RSAU – MTAA named of K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

Denis V. Ursol, Candidate of Technical Sciences, Software Engineer, Industrial Electronic Systems LLC, Belgorod, Russia

УДК 621.397

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-195-204

Разработка метода субполосного сжатия изображений

¹⁾ Лубков И.И., ²⁾ Жиляков Е.Г., ²⁾ Трубицына Д.И., ³⁾ Заливин А.Н.

¹⁾ ООО «Технопроект», Россия, 308009, г. Белгород, ул. Корочанская, 132а

²⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

³⁾ Белгородский университет кооперации, экономики и права,
Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, 116а

E-mail: ii.lubkov@yandex.ru, zhilyakov@bsu.edu.ru, trubitsyna@bsu.edu.ru, zalivin@bsu.edu.ru

Аннотация. В работе представлен метод субполосного сжатия изображений. Описаны теоретические основы применения базиса собственных векторов субполосных матриц в задаче сжатия изображений земной поверхности (ИЗП). Показаны основные этапы уменьшения битовых представлений ИЗП. Представлены результаты реализации метода в программной среде MATLAB. В качестве исходных изображений использованы монохромные снимки земной поверхности пригорода, редколесья и портового района города. Проведен сравнительный анализ результатов сжатия для алгоритма JPEG2000 и метода субполосного сжатия. Показаны степени сжатия ИЗП порядка 80, 500 и 1000 раз.

Ключевые слова: сжатие изображений, частотный субинтервал, субполосная матрица, резкость изображения, изображение земной поверхности

Благодарности: исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 20-07-00241 а.

Для цитирования: Лубков И.И., Жиляков Е.Г., Трубицына Д.И., Заливин А.Н. 2022. Разработка метода субполосного сжатия изображений. Экономика. Информатика. 49(1): 195–204. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-195-204

Development of a method subband compression pictures

¹⁾ Ilya I. Lubkov, ²⁾ Evgeniy G. Zhilyakov, ²⁾ Diana I. Trubitsyna, ³⁾ Alexander N. Zalivin

¹⁾ Tehnoproekt LLC, 132a Korochanskaya St, Belgorod, 308009, Russia

²⁾ Belgorod National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 300815, Russia

³⁾ Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sadovaya St, Belgorod, 308023, Russia

E-mail: ii.lubkov@yandex.ru, zhilyakov@bsu.edu.ru, trubitsyna@bsu.edu.ru, zalivin@bsu.edu.ru

Abstract. The article presents a method of subband image compression. Describes the theoretical foundations of the applying eigenvectors basis of subband matrices in the question of earth surface pictures (ESP) compression. Shows the main stages of reducing the bit representations of the ESP. Presented the results of the implementation of the method in the MATLAB software environment. Monochrome images of the earth's surface of the suburbs, light forests, and the port area of the city were used as initial images. Has been conducted a comparative analysis of the compression results for the JPEG2000 algorithm and the subband compression method. The ESP compression ratio is approximately 80, 500 and 1000 times. The distortions introduced by compression algorithms are described. According to the experimental data obtained, the subband compression method, in comparison with the JPEG2000 algorithm, demonstrates a similar image quality with a compression ratio of up to 100 times, and a better image quality with a compression of more than 100 times. The sub-band method has twice the sharpness index, retains the legibility and recognition of the image when compressed by 500 and 1000 times.

Keywords: image compression, frequency subinterval, subband matrix, image sharpness, earth's surface pictures

Acknowledgments: the research was supported by RFBR grant No. 20-07-00241 а.



For citation: Lubkov I.I., Zhilyakov E.G., Trubitsyna D.I., Zalivin A.N. 2022. Development of a method subband compression pictures. Economics. Information technologies. 49(1): 195–204 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-1-195-204

Введение

В настоящее время изображения земной поверхности (ИЗП) являются важным источником информации, используемым для мониторинга различных показателей состояния сельскохозяйственных территорий, производственных объектов, морских акваторий и русел рек, лесных массивов, пустынных и степных районов, населенных пунктов и прочих объектов. ИЗП получают при помощи дистанционного зондирования земли, используя оптико-электронные системы, установленные на летательные аппараты. Развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) позволило сделать доступным и экономически выгодным использование ИЗП в решении локальных задач мониторинга земной поверхности с целью их анализа для принятия различных управленческих решений. Полученные ИЗП применяют в своей практике сельскохозяйственные, проектные, строительные и эксплуатирующие организации, горно-обогатительные комбинаты, предприятия лесной промышленности, администрации, службы чрезвычайных ситуаций, безопасности и другие [Шовенгердт, 2010; Чандра, Гош 2008; Павлушенко, Евстафьев, Макаренко 2006; Трифонова, Мищенко, Краснощеков 2005]. Многие задачи требуют передачу изображений в процессе полета наземному комплексу управления (НКУ) для их обработки и анализа. Фотокамеры БПЛА, применяемых в задачах мониторинга земной поверхности, характеризуются высокой разрешающей способностью матриц, порядка 20–24 мегапикселей. Передача таких изображений требует высокоскоростного канала связи, для реализации которого необходима радиовидимость между БПЛА и НКУ с компенсацией большого затухания сигнала на трассе посредством увеличения выходной мощности передатчика либо увеличения коэффициентов усиления антенного оборудования [Боев, 2015]. Для экономного использования пропускной способности каналов связи необходимо уменьшить количество битовых представлений ИЗП посредством применения алгоритмов сжатия изображений.

На сегодняшний день существует несколько основных алгоритмов сжатия статических изображений JPEG и JPEG2000. Данные методы осуществляют сжатие на основе частотной фильтрации, применяя дискретное косинус-преобразование (JPEG) или дискретное вейвлет-преобразование (JPEG2000) [Гонсалес, Вудс, 2006]. Одной из проблем базисов косинус- и вейвлет-преобразований является приближенное нахождение доли энергии в некотором частотном интервале. ИЗП характеризуются наличием повторяющихся объектов, которые задают периодичность или квазипериодичность изменения яркости изображения, что в свою очередь приводит к концентрации энергии в определенных частотных интервалах [Жиляков, Черноморец 2009]. Таким образом, в задаче сжатия ИЗП в целях повышения степени сжатия адекватным является применение базиса, позволяющего адекватно отразить свойство сосредоточенности энергии в малой доле области пространственных частот.

Такую возможность представляет базис собственных векторов субполосных матриц, что используется в рамках данной статьи.

Основная часть

Изображение Φ обычно представляется в виде матрицы яркости $\Phi=(f_{ik}), i=1,2,\dots,M, k=1,2,\dots,N$, значения элементов которой соответствуют значению яркости отдельного пикселя (точки изображения) [Жиляков, Черноморец 2009].

Для выявления квазипериодических компонент изображения предлагается переходить в двумерную нормированную частотную область Ω , частоты u и v в которой изменяются в диапазоне $[-\pi,\pi]$

$$\pi \leq u, v \leq \pi.$$

Одной из наиболее важных характеристик изображения является значение доли энергии P_Ω в некотором прямоугольном частотном интервале (субинтервале) Ω

$$P_\Omega = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{(u,v) \in \Omega} |F(u, v)|^2 dudv, \quad (1)$$

где в качестве интервала Ω рассматривается следующая центрально-симметричная область частотной плоскости

$$\Omega: \{ \Omega(u, v) \mid (u \in [\alpha_1, \alpha_2], v \in [\beta_1, \beta_2]) \cup (u \in [\alpha_1, \alpha_2], v \in [-\beta_2, -\beta_1]) \cup (u \in [-\alpha_2, -\alpha_1], v \in [-\beta_2, -\beta_1]) \cup (u \in [-\alpha_2, -\alpha_1], v \in [\beta_1, \beta_2]) \}, \quad (2)$$

где $0 \leq \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2 \leq \pi$.

Точное значение доли энергии P_Ω изображения Φ в субинтервале Ω определяется следующим выражением

$$P_\Omega = \text{trac} (A^T \cdot \Phi \cdot B \cdot \Phi^T), \quad (3)$$

где матрицы $A=(a_{i_1 i_2})$, $i_1, i_2=1, 2, \dots, M$, и $B=(b_{k_1 k_2})$, $k_1, k_2=1, 2, \dots, N$, – симметрические субполосные матрицы, значения элементов которых зависят только от размерности изображения и значений частот на границах субинтервала Ω , и определяются выражениями [Жиляков, Черноморец, 2009]

$$a_{i_1 i_2} = \begin{cases} \frac{\text{Sin}(\alpha_2(i_1 - i_2)) - \text{Sin}(\alpha_1(i_1 - i_2))}{\pi(i_1 - i_2)}, & i_1 \neq i_2, \\ \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\pi}, & i_1 = i_2, \end{cases} \quad (4)$$

$$b_{k_1 k_2} = \begin{cases} \frac{\text{Sin}(\beta_2(k_1 - k_2)) - \text{Sin}(\beta_1(k_1 - k_2))}{\pi(k_1 - k_2)}, & k_1 \neq k_2. \\ \frac{\beta_2 - \beta_1}{\pi}, & k_1 = k_2. \end{cases} \quad (5)$$

Поскольку матрицы A и B являются симметрическими, то их можно представить в следующем виде

$$A = Q_A L_A Q_A^T, \quad (6)$$

$$B = Q_B L_B Q_B^T,$$

где столбцы матриц Q_A и Q_B составлены из значений собственных векторов, матриц A и B соответственно,

$$Q_A = (\vec{q}_{A1}, \vec{q}_{A2}, \dots, \vec{q}_{AM}), \quad (7)$$

$$Q_B = (\vec{q}_{B1}, \vec{q}_{B2}, \dots, \vec{q}_{BN}),$$

матрицы L_A и L_B – диагональные матрицы, составленные из собственных чисел матрицы A и B соответственно,

$$L^A = \text{diag}(\lambda_1^A, \lambda_2^A, \dots, \lambda_M^A), \quad (8)$$

$$L^B = \text{diag}(\lambda_1^B, \lambda_2^B, \dots, \lambda_N^B).$$



В дальнейшем для простоты предполагается упорядоченность собственных чисел по убыванию, то есть

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_N > 0.$$

Ввиду ортогональности матриц собственных векторов справедливо соотношение

$$\Phi = Q_A Q_A^T \Phi Q_B Q_B^T. \quad (9)$$

Поэтому матрицу

$$W_\Omega = Q_A^T \Phi Q_B \quad (10)$$

естественно называть субполосным представлением ИЗП, которое позволяет согласно (9) его восстановить.

Уменьшение количества битовых представлений изображения методом субполосного сжатия осуществляется за счет следующих операций.

Величина собственного числа равна доле энергии, приходящейся на заданный интервал Ω , для соответствующего собственного вектора [Жиляков, Черноморец, 2009]. Таким образом, при осуществлении операции субполосного преобразования (10) и восстановления (9), естественно применять только те собственные векторы субполосных матриц A и B , которые соответствуют ненулевым собственным числам.

Количество ненулевых собственных чисел этих матриц J_a и J_b зависит от размерности матрицы яркости Φ ($M \times N$) и размера субинтервала $\Omega = (0: \pi/m, 0: \pi/n)$,

$$J_a = 2 \left\lceil \frac{M}{2m} \right\rceil + 2 \quad \text{и} \quad J_b = 2 \left\lceil \frac{N}{2n} \right\rceil + 2, \quad (11)$$

где операция [выражение] означает операцию взятия целой части «выражения» [Жиляков, Черноморец 2009].

Таким образом, коэффициент сжатия за счет такого сокращения элементов матрицы (11) определяется выражением,

$$K_{c1} = \frac{M \times N}{J_a \times J_b}. \quad (12)$$

Например, изображение Φ размерностью ($M \times N$) 1000×1000 пикселей с частотным интервалом $\Omega = (0: \pi/10, 0: \pi/10)$, используя ненулевые собственные векторы Q_A и Q_B , имеет субполосное представление W_Ω размерностью ($J_a \times J_b$) 102×102 , получаем коэффициент сжатия $K_{c1} = 96,12$ раз.

Далее выполняется малоразрядное квантование соответствующих элементов матрицы субполосного представления изображения W_Ω , по уровню. Сохраняются шаг квантования, матрица значений шагов квантования и знаковая матрица разрядностью 1 бит. Так, при стандартной разрядности изображения 8 бит, применяя 3-разрядное квантование плюс 1-знаковый разряд, получаем сжатие изображения еще в 2 раза.

Последним этапом является применение кодов Хаффмана к матрицам шагов квантования и знаковой матрице. Согласно экспериментальным данным, алгоритм Хаффмана уменьшает количество битовых представлений матрицы шагов квантования для 4 разрядов ≈ 3 раза, для 3 разрядов в $\approx 4-5$ раз, знаковой матрицы в ≈ 8 раз.

Итого, предполагаемый коэффициент сжатия можно определить следующим выражением:

$$K_c = \frac{M \times N \times N_d}{\left(\frac{J_a \times J_b \times N_{kv}}{C_{H1}}\right) + \left(\frac{J_a \times J_b}{C_{H2}}\right)}, \quad (13)$$

где N_d – разрядность исходного изображения, N_{kv} – количество разрядов квантования, C_{H1} и C_{H2} – коэффициент сжатия алгоритма Хаффмана для матрицы шагов квантования и знаковой матрицы соответственно.

Так, для изображения размерностью 1000x1000 пикселей с глубиной цвета 8 бит при субполосном сжатии с частотным интервалом $\Omega=(0:\pi/10, 0:\pi/10)$, четырехразрядном представлении, получаем общий коэффициент сжатия:

$$K_c = \frac{1000 \times 1000 \times 8}{\left(\frac{102 \times 102 \times 3}{5}\right) + \left(\frac{102 \times 102}{8}\right)} = 699.$$

Вычислительные эксперименты

Метод субполосного сжатия изображений реализован в программной среде MATLAB. Ниже представлены результаты сжатия монохромных ИЗП с глубиной цвета 8 бит, для различных участков земной поверхности. Сравнение осуществляется с алгоритмом JPEG2000, т. к. алгоритм JPEG не способен достигать степеней сжатия более 100.

Для представленных ниже изображений рассчитана мера резкости K_p по строкам и столбцам согласно выражению:

$$K_p = \frac{\sum(a_i - a_{i+1})}{a_{max} - a_{min}}, \quad (14)$$

где a_i – элемент матрицы яркости.

Согласно результатам исследования, алгоритм JPEG2000 при уровне сжатия в 76 раз проявляет характерное размытие, сглаживание текстур и объектов, особенно заметно в левом верхнем углу, при частичном слиянии лесопосадки и дороги (рис. 1.а). Субполосный метод при уровне сжатия 77 раз имеет меньший показатель резкости, однако лучше передает свойства текстур и поверхностей, частично видна дорожная разметка (рис. 1.в).

При уровне сжатия 520 для JPEG2000 контуры домов практически неразличимы, местами дорога сливается со зданиями, субполосный метод при сжатии в 593 раза обладает большей резкостью и сохраняет контуры дорог, здания еще различимы, можно произвести подсчет строений (рис. 1 г, е).

При уровне сжатия 1033 алгоритмом JPEG2000 узнаваемыми остаются только наиболее контрастные объекты. При сжатии в 1084 раз субполосным методом ИЗП остается все еще узнаваемым, различимы контуры домов и кварталов. Для алгоритма JPEG2000 сжатие в 1033 раз является максимальным (рис. 1 ж, и).

На следующем ИЗП при уровне сжатия 78 алгоритм JPEG2000 и субполосный метод показывают схожие результаты, однако субполосный более точно передает текстуры поверхностей, это можно наблюдать на кроне дерева слева сверху, детальных тенях дерева справа снизу и вытоптанной траве в центре.

При сжатии в 500 и 1000 раз алгоритмом JPEG2000 наблюдается сильное размытие поверхностей и вдвое меньшая резкость относительно субполосного метода при сопоставимых уровнях сжатия. Субполосный метод передает более естественное восприятие ИЗП с сохранением узнаваемости объектов (рис. 2 г, е, рис. 3 а, в).

Далее на ИЗП портового района города при степени сжатия 77 для JPEG2000 и 80 для субполосного сжатия наблюдаются схожие результаты, однако, субполосный метод более детально передает структуру поверхности воды и более четкие грани улиц и пирсов (рис. 4).

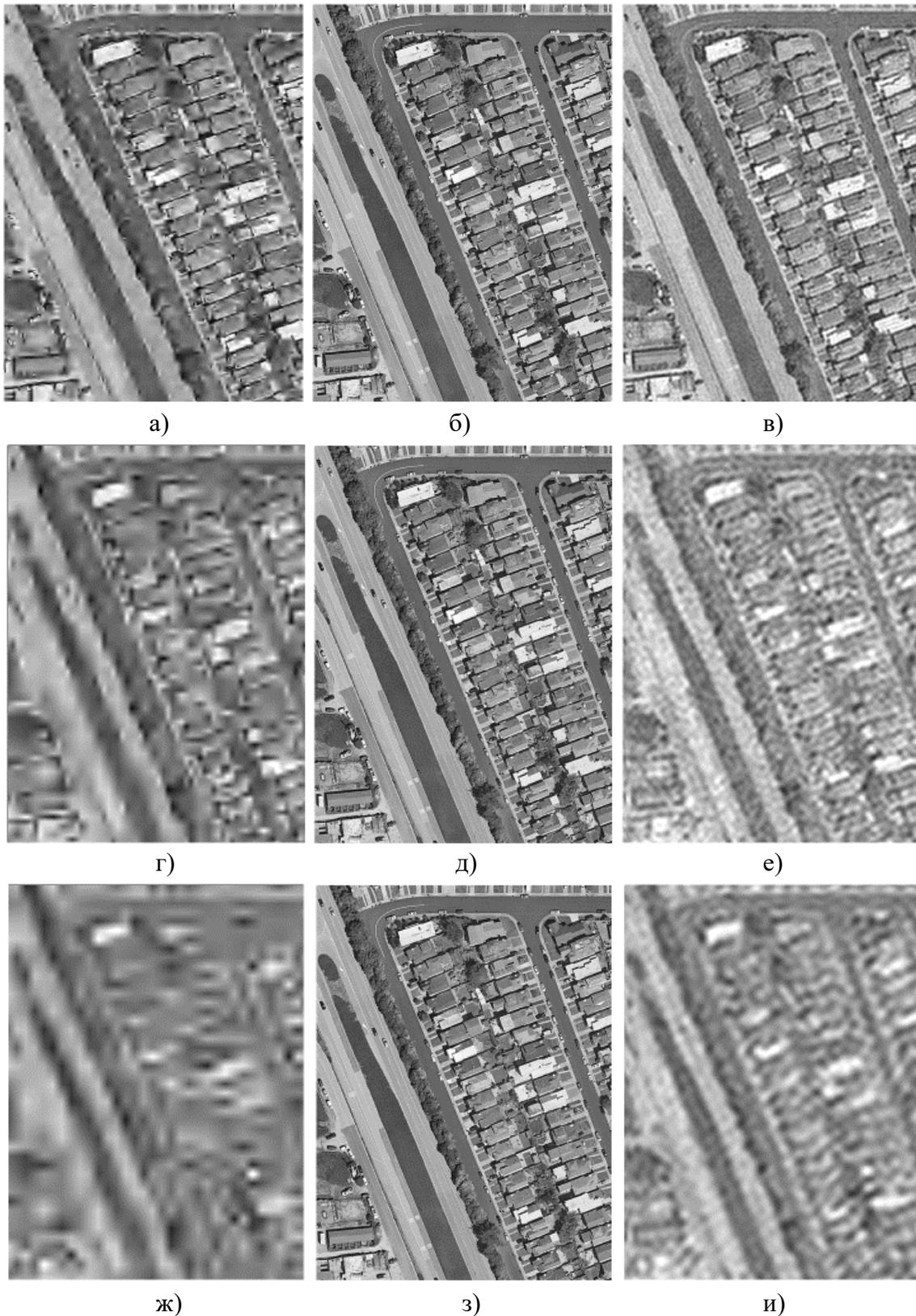


Рис. 1. Результаты сжатия ИЗП: а) JPEG2000 коэффициент сжатия $K_c=76$, $K_p=26/23,4$; б), д), з) исходное изображение $K_r=63/60$; в) субполосное сжатие $K_c=77$, $K_p=22/21$; г) JPEG2000 коэффициент сжатия $K_c=520$, $K_p=10/10$; е) субполосное сжатие $K_c=593$, $K_p=12,8/12,4$; ж) JPEG2000 коэффициент сжатия $K_c=1033$, $K_p=6/6$; и) субполосное сжатие $K_c=1084$, $K_p=9/9$
Fig. 1. Compression results of the ESP: a) JPEG2000 compression ratio $K_c=76$, $K_p=26/23,4$; b), d), z) original image $K_r=63/60$; c) subband compression $K_c=77$, $K_p=22/21$; d) JPEG2000 compression ratio $K_c=520$, $K_p=10/10$; e) subband compression $K_c=593$, $K_p=12,8/12,4$; f) subband compression $K_c=593$, $K_p=12,8/12,4$; g) JPEG2000 compression ratio $K_c=1033$, $K_p=6/6$; i) subband compression $K_c=1084$, $K_p=9/9$

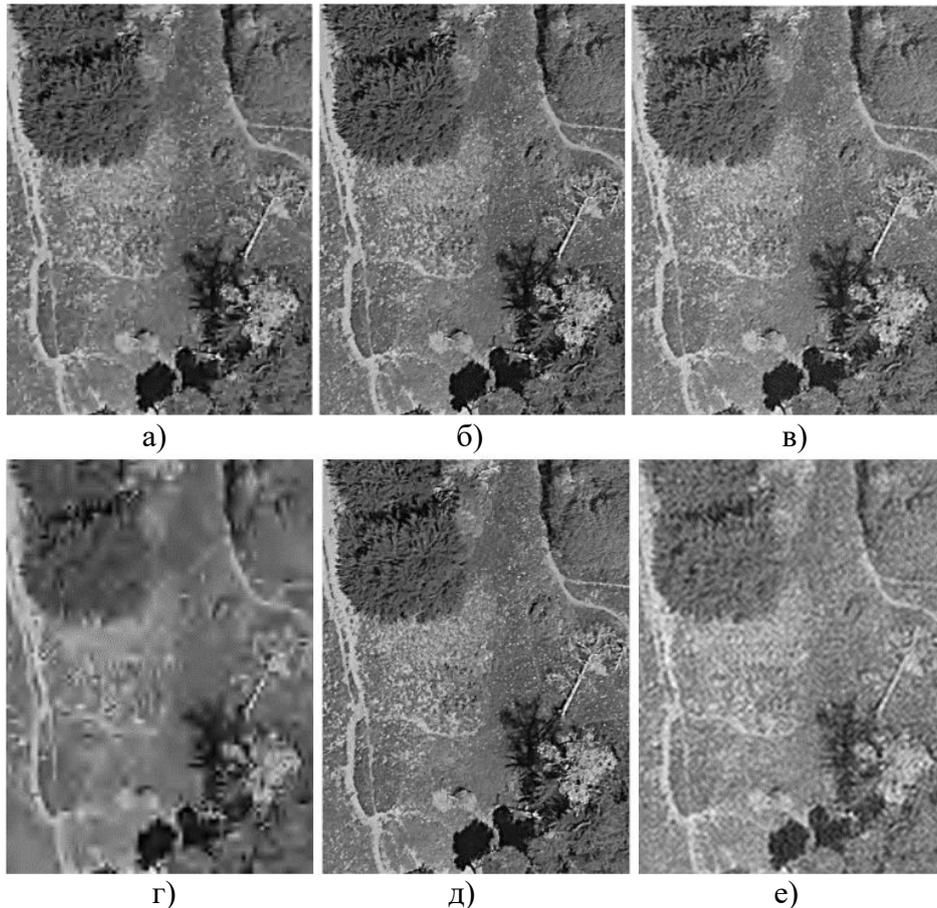


Рис. 2. Результаты сжатия ИЗП: а) JPEG2000 коэффициент сжатия $K_c=78$, $K_r=15/15$;
б), д) исходное изображение $K_r=22/21$; в) субполосное сжатие $K_c=78$, $K_r=16/16$;
г) JPEG2000 коэффициент сжатия $K_c=512$, $K_r=5/6,4$; е) субполосное сжатие $K_c=517$, $K_r=10/11$
Fig. 2. Compression results of the ESP: a) JPEG2000 compression ratio $K_c=78$, $K_r=15/15$;
b), e) original image $K_r=22/21$; c) subband compression $K_c=78$, $K_r=16/16$; d) JPEG2000 compression ratio
 $K_c=512$, $K_r=5/6,4$; f) subband compression $K_c=517$, $K_r=10/11$

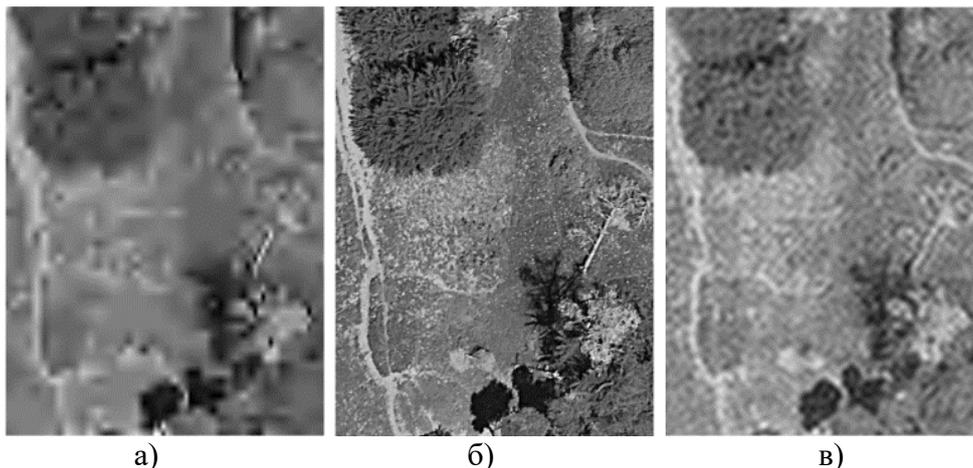


Рис. 3. Результаты сжатия ИЗП: а) JPEG2000 коэффициент сжатия $K_c=1000$, $K_r=3/3,8$;
б) исходное изображение $K_r=22/21$; в) субполосное сжатие $K_c=1161$, $K_r=6,6/7,3$
Fig. 3. Compression results of the ESP: a) J JPEG2000 compression ratio $K_c=1000$, $K_r=3/3,8$;
b) original image $K_r=22/21$; c) subband compression $K_c=1161$, $K_r=6,6/7,3$

Результаты субполосного сжатия в 631 и 1157 раз при сопоставимых уровнях сжатия демонстрируют практически вдвое большую резкостью и лучшую узнаваемость, все еще различимую структуру кварталов, более детальное отображение прибрежной грани (рис. 5).

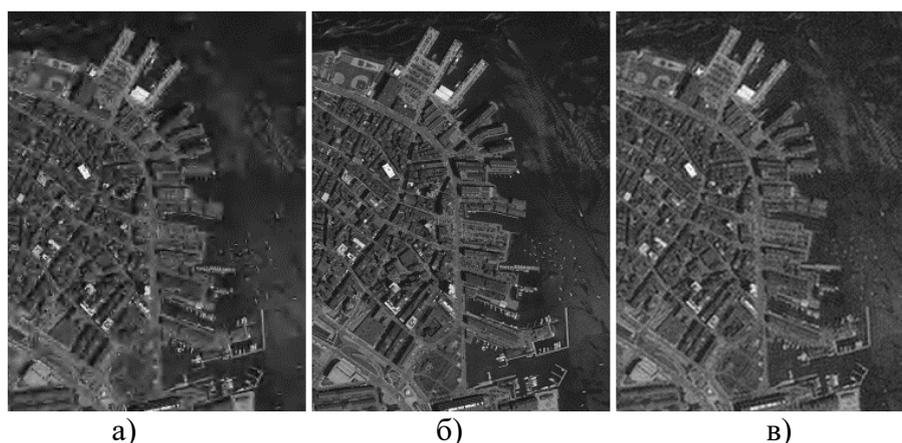


Рис. 4. Результаты сжатия ИЗП: а) JPEG2000 коэффициент сжатия $K_c=77$, $K_r=11/11$;
б) исходное изображение $K_r=34/32$; в) субполосное сжатие $K_c=80$, $K_r=11/11$
Fig. 4. Compression results of the ESP: a) JPEG2000 compression ratio $K_c=77$, $K_r=11/11$;
b) original image $K_r=34/32$; c) subband compression $K_c=80$, $K_r=11/11$

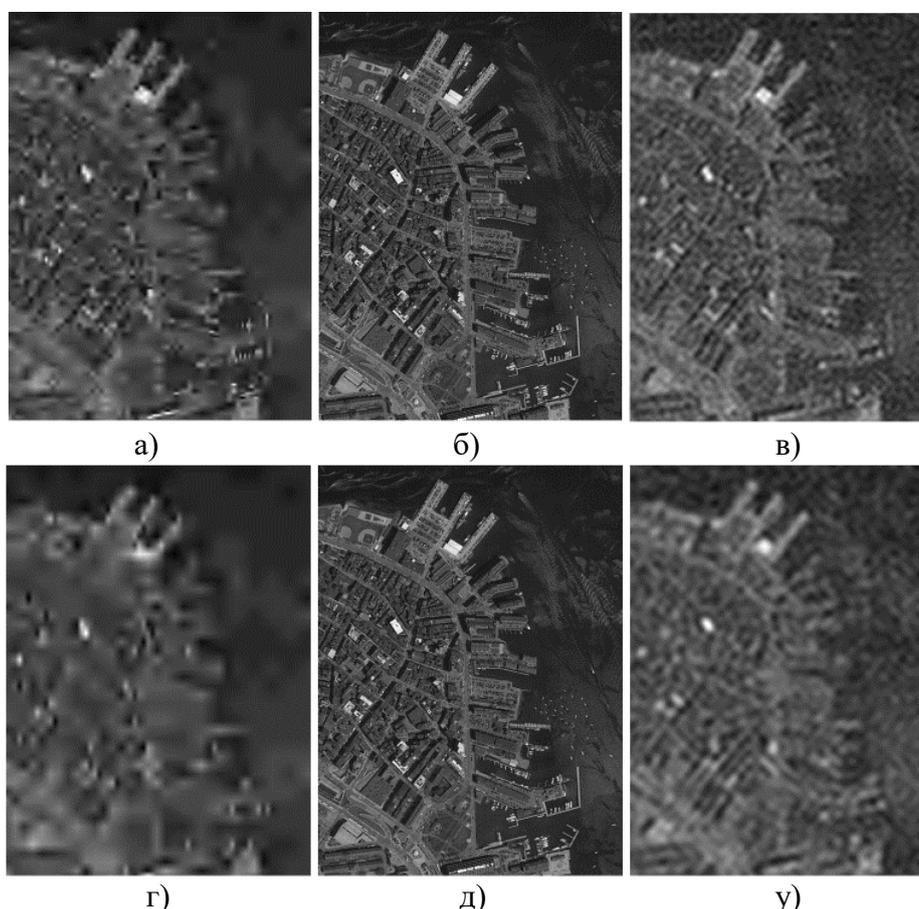


Рис. 5. Результаты сжатия ИЗП: а) JPEG2000 коэффициент сжатия $K_c=525$, $K_r=4,8/4,6$;
б), д), исходное изображение $K_r=34/32$; в) субполосное сжатие $K_c=631$, $K_r=7,1/7,1$;
г) JPEG2000 коэффициент сжатия $K_c=1000$, $K_r=2,8/3,1$; е) субполосное сжатие $K_c=1157$, $K_r=5,3/5,3$
Fig. 5. Compression results of the ESP: a) JPEG2000 compression ratio $K_c=525$, $K_r=4.8/4.6$;
b), e) original image $K_r=34/32$; c) subband compression $K_c=631$, $K_r=7.1/7.1$; d) JPEG2000 compression
ratio $K_c=1000$, $K_r=2.8/3.1$; f) subband compression $K_c=1157$, $K_r=5.3/5.3$

Заклучение

Разработанный метод субполосного сжатия позволяет достигать степеней сжатия 500 и более с сохранением узнаваемости изображения земной поверхности. В сравнении с алгоритмом

JPEG2000, демонстрирует схожее качество изображения при степени сжатия до 100 раз, и лучшее качество изображения при сжатии более 100 раз (250, 500, 1000). При сжатии в 500 и 1000 раз обладает вдвое большим показателем резкости, сохраняет разборчивость и узнаваемость изображения. Метод имеет гибкую настройку степени сжатия в зависимости от уровней квантования субполосного представления изображения W_{Ω} и размеров частотного диапазона Ω .

Список литературы

- Гонсалес Р., Вудс Р. 2012. Цифровая обработка изображений. Издание 3-у, исправленное и дополненное. Пер. с англ. М.: Техносфера, 1104.
- Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. 2006. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. Пер. с англ. М.: Техносфера, 616.
- Жиляков Е.Г., Черноморец А.А. 2009. Вариационные алгоритмы анализа и обработки изображений на основе частотных представлений. Белгород: Изд-во ГиК, 146.
- Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. 2000. Обработка изображений. Технология, методы, применение. М.: Амалфея, 304.
- Красильников Н.Н. 2001. Цифровая обработка изображений. М.: Вузовская книга, 320.
- Смоленцев Н.К. 2009. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМК Пресс, 448.
- Сергиенко А.Б. 2011. Цифровая обработка сигналов. СПб.: БХВ-Петербург, 768.
- Ричард Л. 2006. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. М., ООО «Бином-Пресс», 656.
- Смит С. 2018. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников. Пер. с англ. М. ДМК-Пресс, 718.
- Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. 2003. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 384.
- Сэлмон, Д. 2004. Сжатие данных, изображений и звука. Пер. с англ. М.: Техносфера, 365.
- Чуи К. 2001. Введение в вейвлеты. Пер. с англ. М.: Мир, 416.
- Шовенгердт Р.А. 2010. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Пер. с англ. М.: Техносфера, 560.
- Чандра А.М., Гош С.К. 2008. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Пер. с англ. М.: Техносфера, 312.
- Павлушенко М., Евстафьев Г., Макаренко И. 2006. Беспилотные летательные аппараты: история, применение, угроза распространения и перспективы развития. М.: Изд-во «Права человека», 612.
- Трифонов Т.А., Мищенко Н.В., Краснощекоев А.Н. 2005. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях. М.: Академический Проект, 349.
- Боев Н.М., Шаршавин П.В., Нигруца И.В. 2015. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния. Таганрог: Известия ЮФУ. Технические науки. 7: 147–158.
- Боев Н.М. 2012. Анализ командно-телеметрической радиоперехватной связи с беспилотными летательными аппаратами. Красноярск: Вестник СибГАУ. 86–91.
- Никифоров М., Костяшкин Л. 2016. Обработка изображений в авиационных системах технического зрения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 240.
- Burrus C.S. 1998. Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms: A Primer. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, 268.

References

- Gonzalez R., Woods R. 2008. Digital Image Processing. 3rd Edition. NJ: Prentice Hall, 977. (in Russian)
- Gonzalez R., Woods R., Steven L. 2004. Digital image processing using MATLAB. NJ: Prentice Hall, 609. (in Russian)
- Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A. 2009. Variatsionnyie algoritmyi analiza i obrabotki izobrazheniy na osnove chastotnyih predstavleniy [Variational Algorithms for Image Analysis and Processing Based on Frequency Representations], Belgorod: GiK Publishing House, 146.
- Ablameyko S.V., Lagunovskiy D.M. 2000. Obrabotka izobrazheniy. Tehnologiya, metodyi, primenenie [Image processing. Technology, methods, application]. Moscow.: Amalfeya, 304.
- Krasilnikov N.N. 2001. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy [Digital Image Processing]. Moscow.: Vuzovskaya kniga, 320
- Smolentsev N.K. 2009. Osnovyi teorii veyvletov. Veyvletyi v MATLAB [Fundamentals of wavelet theory. Wavelets in MATLAB]. Moscow.: DMK Press, 448.



- Sergienko A.B. 2003. Cifrovaya obrabotka signalov [Digital Signal Processing]. SPb., Peter. 604
- Richard L. 2004. Understanding Digital Signal Processing, 2nd Edition, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall PTR2004. 621.
- Smith S. 2002. Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists 1st Edition. Newnes, 650.
- Vatolin D., Ratushnyak A., Smirnov M., Yukin V. 2003. Metodyi szhatiya dannyih. Ustroystvo arhivatorov, szhatie izobrazheniy i video [Data compression methods. Archiver device, image and video compression]. Moscow: DIALOG-MIFI, 384.
- Salomon D. 2002. Data compression methods. NY: Springer, 295. (in Russian)
- Chui K. 1992. An Introduction to Wavelets. Texas: Academic Press, 366. (in Russian)
- Schowengerdt R. 2006. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. NY: Academic Press, 560. (in Russian)
- Chandra A.M.; Ghosh S.K. 2006. Remote sensing and geographical information system. New Delhi: Publishing House, 298.
- Pavlushenko M., Evstafev G., Makarenko I. 2006. Bepilotnyie letatelnyie apparaty: istoriya, primeneniye, ugroza rasprostraneniya i perspektivy razvitiya [Unmanned aerial vehicles: history, application, proliferation threat and development prospects]. Moscow. Publishing house «Prava cheloveka», 612.
- Trifonova T.A., Mischenko N.V., Krasnoschekov A.N. 2005. Geoinformatsionnyie sistemy i distantsionnoe zondirovanie v ekologicheskikh issledovaniyakh [Geoinformation systems and remote sensing in ecological research.]. Moscow: Akademicheskiiy Proekt, 349.
- Boev N.M., Sharshavin P.V., Nigrutsa I.V. 2015. Postroeniye sistem svyazi bepilotnykh letatelnykh apparatov dlya peredachi informatsii na bolshie rasstoyaniya [Construction of communication systems for unmanned aerial vehicles for transmitting information over long distances]. Taganrog: Izvestiya YuFU. Tehnicheskie nauki. 7: 147–158.
- Boev N.M. 2012. Analiz komandno-telemetricheskoy radiolinii svyazi s bepilotnyimi letatelnyimi apparatami [Analysis of uav radio control and telemetry systems]. Krasnoyarsk: Vestnik SibGAU. 86–91.
- Nikiforov M., Kostyashkin L. 2016. Obrabotka izobrazheniy v aviatsionnykh sistemakh tehnikeskogo zreniya [Image processing in aircraft vision systems]. Moscow: FIZMATLIT, 240.
- Burrus C.S. 1998. Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms: A Primer. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, 268.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лубков Илья Игоревич, директор ООО «Техно-проект», Белгород, Россия

Ilya I. Lubkov, Director Tehnoproekt LLC, Belgorod, Russia

Жиляков Евгений Георгиевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Evgeniy G. Zhilyakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod National Research University Belgorod, Russia

Трубицына Диана Игоревна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Diana I. Trubitsyna, Candidate of Technical Sciences, Senior lecturer of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Заливин Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Alexander N. Zalivin, Associate Professor of the Department of Information Security, Candidate of Technical Sciences, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia