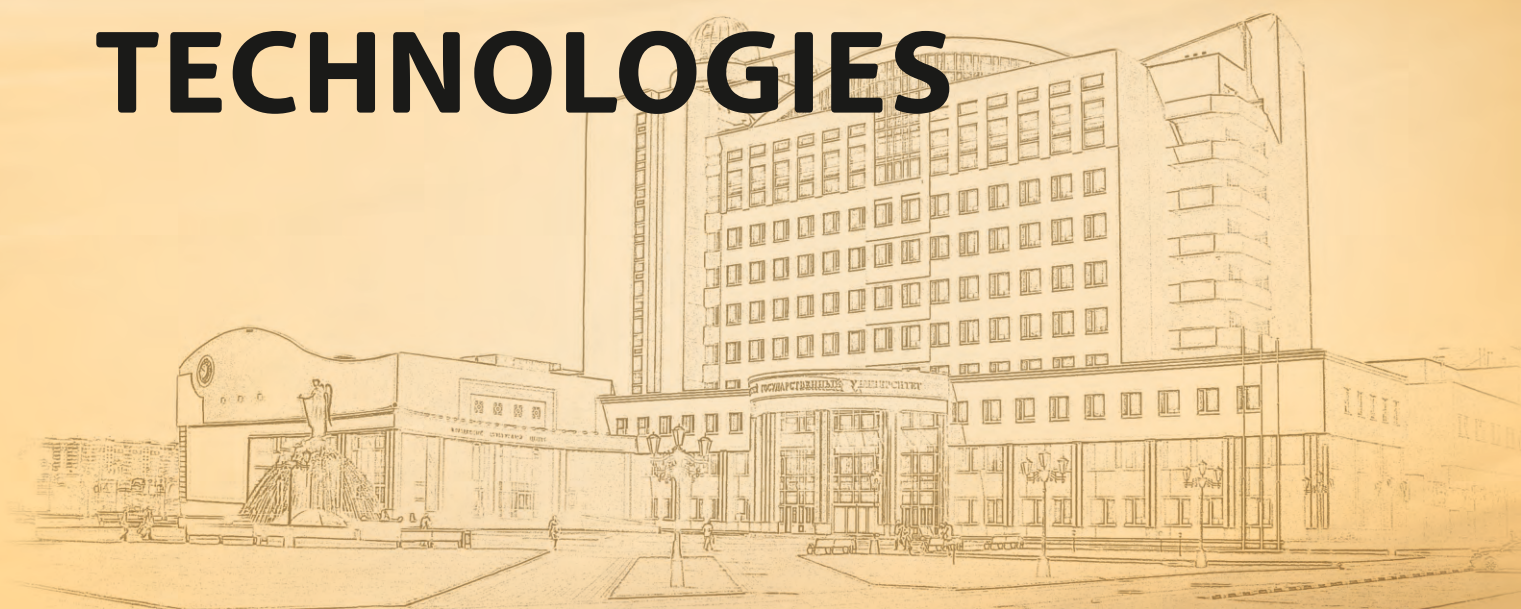


НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

SCIENTIFIC JOURNAL

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES



2023. Том 50, № 2



ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

2023. Том 50, № 2

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 (1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ; 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации; 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами; 2.3.4. Управление в организационных системах; 2.3.8. Информатика и информационные процессы; 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика; 5.2.4. Финансы; 5.2.6. Менеджмент). 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. Жиликов, 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. Стрябкова, 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. Иващук, 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 Ю.В. Ивахненко. Корректур, компьютерная верстка и оригинал-макет Т.В. Мезеря. Гарнитура Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Уч.-изд. л. 26,9. Дата выхода 30.06.2023. Оригинал-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

- 235 **Владыка М.В., Стрябова Е.А., Третьякова М.С.**
Особенности регионального развития России на основе формирования локального ресурсного потенциала
- 248 **Чистникова И.В.**
Системное оптимизационное моделирование региональной экономики

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

- 257 **Любкина Е.О., Макрусов В.В.**
Искусственный интеллект в системе таможенного администрирования: теоретико-методологические положения и модели
- 276 **Макарова Е.Н., Гончарова Н.А., Хаитова А.И.**
Траектории цифровизации HR-службы как социально-экономического ингибитора развития организации

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

- 288 **Кодолова Т.А.**
Факторы влияния на наращивание экономического потенциала предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК
- 300 **Пьянкова С.Г., Митрофанова И.В., Ергунова О.Т.**
Индустрия туризма в условиях «новой нормальности»: вызовы и перспективы
- 313 **Чижова Е.Н., Бендерская О.Б.**
Актуализация модели потенциала предприятия и ее использование для управления его эффективностью

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

- 326 **Антонова М.В., Шумков Д.А.**
Программа ЭВМ для оценки кредитоспособности корпоративного заемщика с учетом ESG-факторов
- 335 **Гладкова С.Б.**
Новые инструменты легализации теневых доходов в условиях цифровизации экономики: криптовалюта и цифровой рубль
- 346 **Попов А.Ю., Чепулянис А.В.**
Современные подходы к оценке налоговой безопасности хозяйствующих субъектов
- 357 **Соловьева Н.Е.**
Современная архитектура организации льготного финансирования агробизнеса

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 367 **Базилевский М.П.**
Оценивание параметров неэлементарных линейных регрессий методом наименьших квадратов
- 380 **Черных Е.М., Михелев В.М., Петров Д.В.**
Безэталонные метрики качества изображений клеток крови

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

- 389 **Вожегова М.А.**
Структурно-функциональная модель комплексов неразрушающего контроля с системой обработки данных на основе нейронных сетей
- 398 **Яценко В.М., Ломакин В.В.**
Синтез структурных и технических решений при проектировании установки микродугового оксидирования
- 410 **Логонова Ю.В., Логонов И.В.**
Применение нечеткого лингвистического подхода при анализе маркетинговых стратегий
- 423 **Шишаев М.Г., Пимешков В.К., Никонорова М.Л., Ломов П.А.**
Формирующий искусственный интеллект: новые возможности информационной поддержки регионального управления

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 439 **Ясир М.Д.Я., Польщиков К.А., Федоров В.И.**
Модель доставки сообщения в сенсорной сети с низким энергопотреблением
- 448 **Помазанов И.С., Жиликов Е.Г.**
Формирование сигнально-кодовых конструкций с возможностью восстановления искаженных фрагментов
- 456 **Белов С.П., Коркин А.А., Белов А.С., Орехов А.О.**
О помехоустойчивости инфокоммуникационных систем при использовании кодового перемешения
- 465 **Ширяев А.А., Кукушкин С.С., Олейник И.И.**
Методы обработки информации при построении высокопроизводительных аппаратных систем на основе распараллеливания потоков передаваемых данных
- 476 **Оболенский Д.М., Шевченко В.И., Ченгарь О.В.**
Имитационная модель распределенного процесса сбора данных

ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES

2023. Volume 50, No. 2

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 (1.2.2. Mathematical Modeling Numerical Methods and Program Complexes; 2.3.1. The System Analysis, Management and Information Processing; 2.3.3. Automation and Control of Operating Processes and Manufacturing; 2.3.4. Control in Operational Systems; 2.3.8. Informatics and Information Processes; 5.2.3. Regional and sectoral economy; 5.2.4. Finance; 5.2.6. Management). 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. Stryabkova, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Applied Economics and Economic Security, Institute of Economics and Management (BSU, Belgorod, Russia)

Editorial assistants:

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

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

Members of Editorial Board:

A.V. Bogomolov, Doctor of Technical Sciences, Professor (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. Turgenev, 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 Kazpotreboysuz, Karaganda, Kazakhstan)

A.A. Chernomoretz, 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 ЭП № ФЦ 77-77834 dd 31.01.2020.

Publication frequency: 4 /year

Commissioning Editor Y.V. Ivakhnenko. Pag Proofreading, computer imposition, page layout by T.V. Mezerya. Typeface Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Publisher's signature 26,9. Date of publishing 30.06.2023. 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

- 235 **Vladyka M.V., Stryabkova E.A., Tretyakova M.S.**
Features of Russia's Regional Development Based on the Formation of Local Resource Potential
- 248 **Chistnikova I.V.**
System Optimization Modeling of Regional Economy

INVESTMENT AND INNOVATIONS

- 257 **Lyubkina E.O., Makrusev V.V.**
Artificial Intelligence in the System of Customs Administration: Theoretical and Methodological Provisions and Models
- 276 **Makarova E.N., Goncharova N.A., Khaitova A.I.**
Trajectories of Digitalization of the HR Service as a Socio-Economic Inhibitor of the Organization's Development

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

- 288 **Kodolova T.A.**
Impact Factors on the Growth of Economic Potential of the Enterprise of Dairy-Product Subcomplex of Agroindustrial Complex
- 300 **Pyankova S.G., Mitrofanova I.V., Ergunova O.T.**
Tourism Industry in the New Normal: Challenges and Prospects
- 313 **Chizhova E.N., Benderskaya O.B.**
Updating the Enterprise Potential Capacity Model and Its Use to Manage Its Efficiency

FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

- 326 **Antonova M.V., Shumkov D.A.**
A Computer Program for Assessing the Creditworthiness of a Corporate Borrower Considering ESG Factors
- 335 **Gladkova S.B.**
New Instruments for Legalization of Shadow Incomes in Conditions of Economy Digitalization: Cryptocurrency and Digital Ruble
- 346 **Popov A.Yu., Chepulyanis A.V.**
Modern Approaches to Assessing the Tax Security of Economic Entities
- 357 **Solovyova N.E.**
Modern Architecture of the Organization of Preferential Financing of Agribusiness

COMPUTER SIMULATION HISTORY

- 367 **Bazilevskiy M.P.**
Estimation Non-Elementary Linear Regressions Parameters Using Ordinary Least Squares Method
- 380 **Chernykh E.M., Mikhelev V.M., Petrov D.V.**
No-Reference Blood Cells Images Quality Metrics

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

- 389 **Vozhegova M.A.**
Structural and Functional Model of Non-Destructive Testing Complexes with a Data Processing System Based on Neural Networks
- 398 **Yatsenko V.M., Lomakiv V.V.**
Synthesis of Structural and Technical Solutions in the Design of a Microarc Oxidation Plant
- 410 **Loginova J.V., Loginov I.V.**
Fuzzy Linguistic Approach to Selection of Marketing Strategies
- 423 **Shishaev M.G., Pimeshkov V.K., Nikonorova M.L., Lomov P.A.**
Formative Artificial Intelligence: New Opportunities for Information Support of Regional Management

INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

- 439 **Yaser M.J.Y., Polshchikov K.A., Fedorov V.I.**
Message Delivery Model in a Low-Power Sensor Network
- 448 **Pomazanov I.S., Zhilyakov E.G.**
Formation of Signal-Code Constructions with the Possibility of Restoring Distorted Fragments
- 456 **Belov S.P., Korkin A.A., Belov A.S., Orekhov A.O.**
On the Noise Immunity of Infocommunication Systems when Using Code Interleaving
- 465 **Shiryaev A.A., Kukushkin S.S., Oleinik I.I.**
Information Processing in the Construction of High-Performance Hardware Systems Based on Parallelization of Transmitted Data Streams
- 476 **Obolensky D.M., Shevchenko V.I., Chengar O.V.**
A Simulation Model of the Distributed Data Collection Process

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

УДК 332.132

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-235-247

Особенности регионального развития России на основе формирования локального ресурсного потенциала

Владыка М.В., Стрябкова Е.А., Третьякова М.С.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

Россия, 308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: vladyka@bsu.edu.ru, Stryabkova@bsu.edu.ru, mrs.tretyakova.m@yandex.ru

Аннотация. Данная статья посвящена изучению вопросов, связанных с особенностями регионального развития России в контексте формирования локального ресурсного потенциала. Авторы предлагают рассмотреть региональное развитие как процесс, включающий в себя все аспекты экономической, социальной и инфраструктурной системы региона. В статье приведен анализ взаимосвязи между экономическими санкциями и региональными различиями внутри России с точки зрения формирования регионального протекционизма, функционирования ресурсного, промышленного и импортозамещаемого капиталов, а также роли локальных ресурсов в формате устойчивого развития регионов и в процессе формирования ресурсов на локальном уровне. Помимо прочего, рассматривается современное состояние регионального развития в России, выделяются основные вызовы и проблемы, с которыми сталкиваются регионы на современном этапе. В частности, было отмечено, что одной из основных проблем является неравномерность развития между регионами, что приводит к неравномерному распределению ресурсов и, как следствие, неравномерному социально-экономическому развитию. Для решения данной проблемы авторы предлагают активизировать формирование локальных ресурсных потенциалов на местах, что позволит более эффективно использовать ресурсы, которые имеются в конкретном регионе и создать условия для процветания местного бизнеса и общества в целом. В заключении авторы приходят к выводу, что формирование локальных ресурсных потенциалов может стать эффективным инструментом для решения основных проблем регионального развития в России. Такой подход позволит учитывать особенности конкретных регионов и создавать условия для устойчивого социально-экономического развития всей страны. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью перестройки механизмов регионального развития в контексте последних изменений на мобилизационной основе: постковидные процессы, санкционные ограничения, локализация экономических процессов России и регионов.

Ключевые слова: экономические санкции, региональный протекционизм, локальные ресурсы, региональное развитие, локализация

Благодарности: исследование подготовлено в рамках государственного задания НИУ «БелГУ» FZWG-2023-0014, тема проекта «Пространственно-сетевое взаимодействие российских регионов в контексте новых вызовов технологического развития».

Для цитирования: Владыка М.В., Стрябкова Е.А., Третьякова М.С. 2023. Особенности регионального развития России на основе формирования локального ресурсного потенциала. Экономика. Информатика, 50(2): 235–247. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-235-247

Features of Russia's Regional Development Based on the Formation of Local Resource Potential

Marina V. Vladyka, Elena A. Stryabkova, Marina S. Tretyakova

Belgorod National Research University

85 Pobedy St, Belgorod, Belgorod Region, 308015, Russia

E-mail: vladyka@bsu.edu.ru, Stryabkova@bsu.edu.ru, mrs.tretyakova.m@yandex.ru

Abstract. This article is devoted to the study of issues related to the peculiarities of Russia's regional development in the context of the formation of local resource potential. The authors propose to consider regional development as a process that includes all aspects of the economic, social and infrastructural system of the region. The article analyzes the relationship between economic sanctions and regional differences within Russia in terms of the formation of regional protectionism, the functioning of resource, industrial and import-substituting capital, as well as the role of local resources in the format of sustainable development of regions and in the formation of resources at the local level. Among other things, the current state of regional development in Russia is considered, the main challenges and problems faced by the regions at the present stage are highlighted. In particular, it was noted that one of the main problems is the uneven development between regions, which leads to an uneven distribution of resources and, as a consequence, uneven socio-economic development. To solve this problem, the authors propose to intensify the formation of local resource potentials on the ground, which will allow for more efficient use of the resources available in a particular region and create conditions for the prosperity of local business and society as a whole. In conclusion, the authors conclude that the formation of local resource potentials can become an effective tool for solving the main problems of regional development in Russia. Such an approach will allow taking into account the peculiarities of specific regions and creating conditions for sustainable socio-economic development of the whole country. The relevance of this study is due to the need to restructure the mechanisms of regional development in the context of recent changes on a mobilization basis: post-crisis processes, sanctions restrictions, localization of economic processes in Russia and the regions.

Keywords: economic sanctions, regional favoritism, local resources, import substitution, regional development, localization

Acknowledgement: the study was prepared as part of the state task of NRU "BelSU" FZWG-2023-0014, the project topic is "Spatial-network interaction of Russian regions in the context of new challenges of technological development".

For citation: Vladyka M.V., Stryabkova E.A., Tretyakova M.S. 2023. Features of Russia's Regional Development Based on the Formation of Local Resource Potential. Economics. Information technologies, 50(2): 235–247 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-235-247

Введение

В силу недостаточной изученности вопроса локализации на сегодняшний день следует отметить, что большинство исследований в данной области проводится в контексте глобализации. Однако в свете событий последних лет специалистами все чаще подчеркивается, что регионы и присущие им ресурсный, промышленный и отраслевой потенциалы могут выступать в качестве инновационной среды для модернизации производства и предпринимательства на локальном уровне. Несмотря на это, степень влияния локальных ресурсов и их использования для формирования региональных траекторий развития и реализации до сих пор привлекала недостаточное внимание. Целостный взгляд на роль ресурсной составляющей для устойчивого развития территорий в условиях локализации, приведенный в данном исследовании позволяет концептуально рассматривать такие проблемы.

Объекты и методы исследования

Для создания методологической платформы были использованы теоретические концепции системного исследования и ретроспективные научные подходы, которые позволяют рассматривать в совокупности взаимосвязанные явления и процессы социально-экономической действительности. Также использовались персонифицированный и гуманитарный подходы для оценки устойчивого развития регионов. Дедуктивный, индуктивный и диалектический принципы послужили базой для проведения исследования. В работе также применены методы логического и абстрактного мышления, аналитического обобщения экономических постулатов, синтеза, типизации, группировки и классификации. Таким образом, представленный подход достаточно уникален и сочетает в себе различные теоретические и практические методы для создания эффективной платформы исследования. Целью работы является выявление основных характеристик и специфических факторов пространственной локализации регионов и влияния экономических санкций на процессы развития территорий.

Результаты и их обсуждение

Современные тенденции пространственной локализации регионов в значительной степени влияют на центробежные процессы межтерриториальной дифференциации и неравенства, что не способствует их устойчивому и сбалансированному развитию. Историко-географический экскурс свидетельствует, что Российская Федерация занимает большую территорию и характеризуется очень большими интервалами значений и параметров социально-экономического пространства, локализованных в границах государства. Поэтому обеспечение экономической связанности столь больших территорий, снижение и сглаживание диспропорций и неравенства в развитии регионов, выявление макроэкономической специализации и межтерриториальной интеграции являются ключевыми направлениями формирования новой матрицы сбалансированной и устойчивой экономической реальности. Общемировыми тенденциями пространственного развития в начале XXI века являются концентрация населения и экономики в крупнейших формах расселения, среди которых ведущие позиции занимают крупнейшие городские агломерации. В Российской Федерации сформировалось более 40 крупнейших городских агломераций, а также городских агломераций, где численность населения с начала 2000-х годов устойчиво возрастает и в настоящее время превысила 73 млн. человек. [Стратегия пространственного развития Российской Федерации до 2025 года, 2019]. Региональные социально-экономические системы в силу сложившихся обстоятельств подвержены пространственной энтропии, разрозненности и агломерационной фрагментации территорий. С одной стороны, это необходимость увязки большой протяженности территорий с обеспечением сбалансированности развития и устойчивого экономического роста, а с другой – наращивание государственного ресурсного потенциала за счет внедрения отечественных инновационных технологий, формирования новых рынков и видов продукции, человеческого капитала.

Следует отметить значительный вклад российских и зарубежных ученых в разработку научно-методологических и практико-методических вопросов пространственного развития, экономического роста, управления кластерным развитием регионов, достижения регионами устойчивого экономического роста. Однако приходится признать, что в современных условиях происходит быстрое изменение внешних и внутренних факторов развития социально-экономических систем различной степени иерархичной соподчиненности, в связи с чем выявляется множество дискуссионных и нерешенных проблем фундаментального и прикладного характера, нуждающихся в обобщении. Отечественные разработки не акцентируют внимание на особенностях современного роста – рядоположном и одновременном существовании в региональных системах сегментов экономики горизонтальных и вертикальных связей, обусловленных процессами

неравенства, дифференциации и разрывами полюсов роста, а также их неравномерностью. Практически не проработанным остается вопрос об изменениях, происходящих в социально-экономических системах, связанных с локализацией при смене парадигмы развития [Бухвальд, Кольчугина, 2019]. Поэтому исследование и понимание локализации в экономическом аспекте дает возможность предвидения глобальных «ресурсных» войн, поляризации макрорегионов по продолжительности и качеству жизни, появления «продовольственных» пустынь и расхождение агломерационных территорий по барьерным рискам.

В последнее время для экспликации этого явления активно используется термин «локализация», имеющий несколько смысловых значений. В более общем смысле это означает некую матрицу или ограничение процесса. Вместе с тем она означает сосредоточение какого-либо явления в одном месте. Так как локализация понятия весьма неоднозначная, то в контексте генерирования ресурсного потенциала регионального развития она играет весьма существенное значение, как основополагающий базис, формирующий уникальные институты и инструментально-технологический контур развития территорий [Минакир, 2018].

Важно отметить, что у локализации нет однозначного экономического толкования, поэтому многие отечественные и зарубежные исследователи в своих работах определяют данное явление разносторонне с точки зрения экономических закономерностей (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Содержательный контент значения дефиниции «локализация»
Interpretation of the term "localization"

Содержание дефиниции «локализация»	Автор
«Локализация — процесс перераспределения государственных полномочий в пользу регионов, а также учет региональных интересов и потребностей в политике, экономике, управлении, планировании».	А. Торр, А. Планкет
«Локализация — это социально-культурная, политическая, экономическая автономия территориальных сообществ, направленных на сохранение самобытности региона или повышение его статуса в системе государств-наций».	М. Портер
«Локализация — это процесс использования существенных экономических мощностей географически очерченного региона (в рамках страны) или даже крупного города для того, чтобы успешно осуществлять инновации и совместно конкурировать посредством взаимосвязанных сетей и альянсов. снижение транзакционных издержек, использование местной отраслевой среды и культуры, повышение инновационного потенциала. комплексные механизмы разработки технологии».	Дж. Гарофоли
Локализация – адаптация приложения к национальным особенностям страны (региональные настройки).	М. Уэйтс
Локализация становится синонимом агломерации, с тем различием, что термины «локализация» или «кластер» будут применяться к предприятиям одной отрасли (или единой группы отраслей), а «агломерация» будет применяться в более широком смысле, как скопление в одном регионе предприятий многих отраслей или нескольких отраслевых групп.	А.В. Зюзин, О.А. Демидова, Т.Г. Долгопятова, Е.А. Стрябкова

Окончание табл. 1
End table 1

Содержание дефиниции «локализация»	Автор
Локализация определяется в соответствии с принципами географического или экономического районирования и экономических систем и рассматривается на основе синтеза пространственного и воспроизводственного подходов	А.Г. Гранберг, П.А. Минакир, И.В. Манаева,
Локализация определяется как автономность и самоорганизация экономической системы, способной адаптироваться к изменениям внешней среды территориального воспроизводства, функционирующей в условиях действия факторов пространственной экономики	Е.М. Бухвальд, Н.В. Зубаревич, А.В. Кольчугина, М.Н. Макарова

*Составлено авторами, в т.ч. по [Plunket, Torre, 2009; Porter, 2016; Garafoli. 1993; Waits, 1996; Зюзин, Демидова, Долгопятова 2020; Стрябкова, 2016; Гранберг, 2019; Минакир, 2018; Манаева, 2022; Бухвальд, 2019; Зубаревич, 2017, Макарова, 2013]

Авторский подход концептуально определяет, что в основе процессов локализации лежат проблемы геополитического, биотехногенного и социально-экономического неравенства, выражающиеся в глобальных различиях и степени отрыва макрорегиональных полюсов роста от дифференцированных территорий, что подтверждается центро-периферийной теорией и исследованиями пространственной концентрации экономики.

Полагаем, что исследование пространственной локализации, в первую очередь, должно основываться на понимании региональной дихотомии этого процесса как элемента социально-экономической системы. С одной стороны, это самоорганизующаяся система, имеющая определенную автономию и характеризующаяся наличием цели развития, субъектно-объектным взаимодействием, ресурсным потенциалом и организационной структурой. Она представляет собой сферу взаимодействия природно-ресурсной, экономической, социально-демографической, инфраструктурной, институциональной составляющих локальной системы в процессе воспроизводства и генерирования ресурсного потенциала территории. С другой стороны, как элемент системы более высокого (макрорегионального, национального) уровня она подчинена общим тенденциям ее развития. Поэтому она является результатом сложной взаимосвязи и взаимозависимости нескольких составляющих ее базовых элементов «локализации», «генерации», «ресурсов» и является частью общей национальной социально-экономической системы, а также сквозной универсальной характеристикой других видов систем, являясь их структурно-составным элементом и включая их в себя как неотъемлемую часть.

Экономическая локализация возникает как устойчивая совокупность взаимосвязанных политических, биоэкологических, технологических, социально-экономических связей и во многом является причиной специфического протекания территориальных социально-экономических процессов, а генерация региональных ресурсов, помимо прочего, создает условия для ускорения достижения результатов роста в соответствии с целевой траекторией и стратегическим управлением, обеспечивающим сбалансированное развитие элементной структуры региона [Лаврикова, Ю.Г., Суворова А.В., 2020; Третьякова, Астахин, 2020; Гранберг А.Г., 2019; Макарова, 2013].

Обобщая мнение ученых относительно процесса локализации, можно сделать вывод, что ее следует рассматривать с приоритетом на ресурсную составляющую, в этом случае локализация – адаптивное состояние развития национальной экономики при минимальном вливании внешних ресурсных потоков. Так, говоря о региональном развитии, суть локализации заключается в рациональном и наиболее эффективном задействовании ресурсного потенциала региона или, например, целого государства для сохранения его

статуса и поддержания имиджа на внутригосударственной или интернациональной арене [Жихаревич, 2019].

Ресурсный фактор устойчивого развития, обеспечивая процессы воспроизводства (трудовые ресурсы, фактор капитала и природные ресурсы), формирует потенциал структурных элементов экономической системы (производственно-технический, технологический, потенциал трудовых ресурсов, кадровый потенциал, потенциал природных ресурсов) для изменения типа экономического роста и модели экономического развития.

Развитие региональной экономики, формирование и использование ресурсного потенциала в рамках региона, регионально-отраслевых комплексов и территорий необходимо рассматривать с точки зрения факторной зависимости. Группы факторов принято подразделять на внешние и внутренние. Если внутренние факторы в рамках национального пространства мы регулируем через нормативно-правовое поле, через регламентацию, через инструментально-технологические протоколы осуществления различных организационно-экономических и управленческих процессов, то группы внешних факторов зачастую национальная экономика может регулировать только через дипломатические каналы, либо может регулировать лишь ее минимальную часть. Примером является пандемийные процессы, проведение специальной военной операции, которые привели к тому, что национальная экономика Российской Федерации стала развиваться не просто в условиях локального развития, а в условиях локализации тотальной плотности, при которой количество внешних ресурсных потоков было сокращено до максимального минимума ввиду наложения многочисленных пакетов санкций [Гагарина, 2016].

Исследование влияния западных санкций на Россию проводится в основном с макроэкономической точки зрения ВВП, торговли, обменного курса денежной валюты. Работы китайских ученых Ли Чжэнтао, Ли Тяньцзы (Li Zhentao, Li Tianzi) из Исследовательского центра Северо-Восточной Азии, Цзилиньского университета подтвердили, что санкции оказали негативное влияние на экономический рост России: Международный валютный фонд (МВФ) в 2015 году сообщил, что санкции могут привести к краткосрочному падению ВВП России на 1,0-1,5%, и что среднесрочные накопленные потери могут достичь 9,0% ВВП. Экономические санкции влияют не только на ВВП, но и на инвестиционную среду. В 2014 году чистый отток частного капитала из России составил 152 миллиарда долларов США, под влиянием санкций на российскую торговлю было недополучено 53 миллиарда долларов США. Исследование влияния санкций на микроуровне также показали негативные тенденции: компании потеряли около трети своего операционного дохода и более половины своих активов по сравнению с компаниями, на которые не были наложены санкции [Zhentao, Tianzi, 2022]. Также следует отметить, что начинают активно проявляться макрорегиональные процессы локализации и поляризации. На рисунке 1 представлены основные антироссийские санкции, введенные с момента начала специальной военной операции в феврале 2022 года.

Экономические санкции стали одним из важнейших инструментов государственного управления в международной политике, направленным на изменение внутригосударственной политики целевых стран путем причинения экономических потерь. В 2014 году западные страны ввели экономические санкции в отношении России, что определяет актуальность анализа и оценки эффективности таких экономических санкций, их влияние на региональное развитие, формирование предпосылок российской импортозамещающей индустриализации на санкционном фоне [Федоляк, 2018].

Надо отметить, что большинство исследователей изучают санкционное давление через установление взаимосвязи между экономическим ростом, ценами на нефть, обменными курсами, торговлей, доходами корпораций и экономическими санкциями. Мало внимания уделяется взаимосвязи между санкциями и развитием регионов страны [The Global Competitiveness Report, 2012].

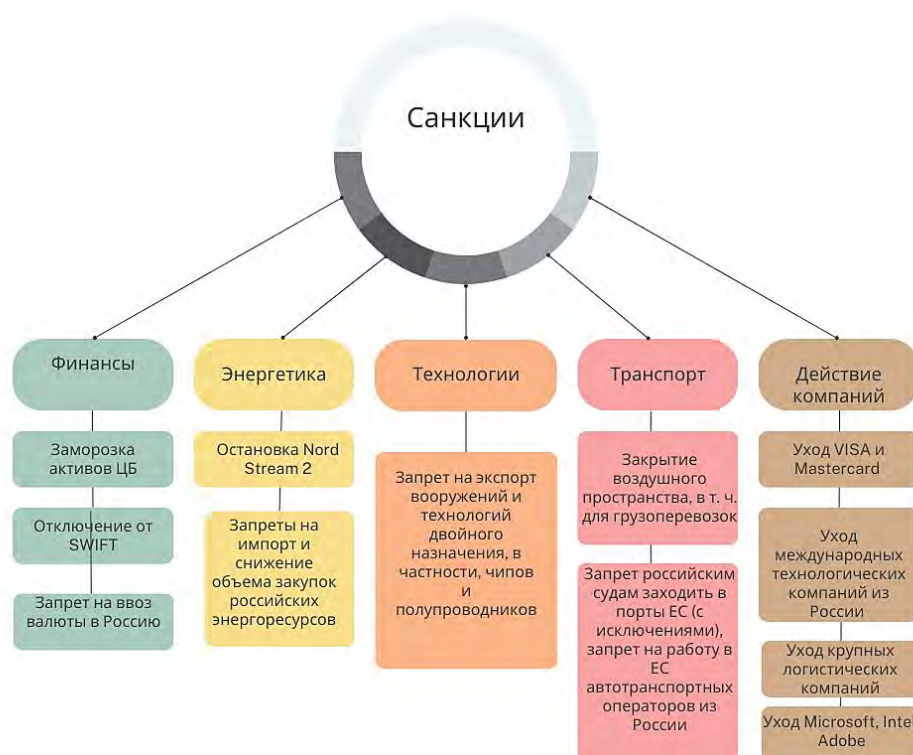


Рис. 1. Перечень основных санкций недружественных стран против России (2022 год)
Figure 1. Review of the main sanctions of unfriendly countries against Russia (2022)

* Источник: Рейтинговое агентство «Эксперт». Макроэкономика. Россия. Санкционномика: развилки, коридоры и выходы. URL: https://www.raexpert.ru/researches/sancinomics_2022/ (дата обращения 14.02.2023).

Усиливаются локальные и поляризационные тренды макрорегионального развития, к которым, по нашему мнению, следует отнести аспекты, представленные на рисунке 2.



Рис. 2. Основные тренды макрорегионального развития
Figure 2. Main trends of macro-regional development

*Составлено авторами, в т.ч. по [Зубаревич, 2017; Третьякова, Астахин, 2020]

Одним из объяснений взаимосвязи между экономическими санкциями и региональными различиями в России может быть так называемый региональный фаворитизм или протекционизм. Как показывает мировая практика, некоторые государства выбирают преференциальную политику для приоритетных регионов, что является региональным фаворитизмом. При приобретении и распределении ресурсов в регионы, наибольшие преференции получают те, которые пользуются благосклонностью политических лидеров, которые, в свою очередь, оказывают стимулирующее влияние на инвестиции в инфраструктуру, утверждение проектов и трансферты [Bondareva, Vaganova, Vladyka, Kamyschanchenko, Stryabkova, 2021].

С точки зрения концентрации капитала и производственных сил ведущие агломерации (Москва, Санкт-Петербург, города-миллионники) имеют большее значение, чем другие города Российской Федерации. В процессе борьбы с кризисом ресурсы могут быть выделены определенным регионом с помощью ряда административных и институциональных механизмов. Крупные агломерации являются доминирующими в формате территориального развития, поскольку высокие тарифы, высокая стоимость внутренней торговли и низкий уровень международной торговли еще больше усилили концентрацию населения в крупных городах и сформировали уникальную экономико-географическую структуру, в которой они доминируют в закрытых экономиках [Шулбаева, 2020].

Одной из характеристик локализации по показателю ресурсных инвестиций в основной капитал по формам собственности в Российской Федерации за последние несколько лет является постепенное снижение иностранной собственности на 16%, а совместной российской и иностранной собственности соответственно на 62%, что свидетельствует о локализации российских ресурсов на базе отечественной собственности. Вместе с тем государственная и частная остаются практически без изменений, но снижается доля смешанной российской собственности, а муниципальная выросла за пять лет на 44% (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Распределение ресурсных инвестиций в основной капитал
по формам собственности в Российской Федерации за 2017-2021 гг., в %
Distribution of resource investments in fixed assets by form
of ownership in the Russian Federation for 2017-2021, in %

Вид собственности	Годы					Изменение (+/-) 2021 г. к 2017 г., %
	2017	2018	2019	2020	2021	
Российская, в том числе:	96,8	97,0	97,5	98,4	97,9	101,14
– государственная	10,7	11,3	10,4	13,6	10,7	100,00
– муниципальная	2,5	2,0	2,3	1,9	3,6	144,00
– частная	78,8	76,5	78,0	75,9	80,2	101,78
– смешанная российская	4,9	7,2	6,8	7,0	3,4	69,39
Иностранная	1,9	2,1	1,7	1,1	1,6	84,21
Совместная российская и иностранная	1,3	0,9	0,7	0,5	0,5	38,46

Источник: Российский статистический ежегодник. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения 15.02.2023).

Также важной характеристикой и объяснением взаимосвязи между экономическими санкциями и региональными различиями в России является промышленное развитие. Импортзамещение обычно относится к защите и развитию отечественного производства

путем ограничения импорта промышленной продукции, способствуя внутренней индустриализации. Экономические санкции обычно действуют как защитные тарифы и приводят к импортозамещающей индустриализации [Шулбаева, 2020].

В ответ на санкционное давление были обоснованы ключевые направления экономической политики с акцентом на развитие импортозамещающих отраслей. Основные направления для импортозамещения представлены на рисунке 3.

Данная политика увеличила ресурс выделения средств в те сферы деятельности, на которые распространяются западные санкции, такие, как национальная оборона и производство нефтегазового оборудования. Кроме того, предприятиям, участвующим в импортозамещении, была оказана соответствующая *государственная* поддержка, включающая льготные кредиты, льготный доступ к национальным фондам закупок и финансовую поддержку импортозамещения в форме снижения налогов [Porter, 2016].

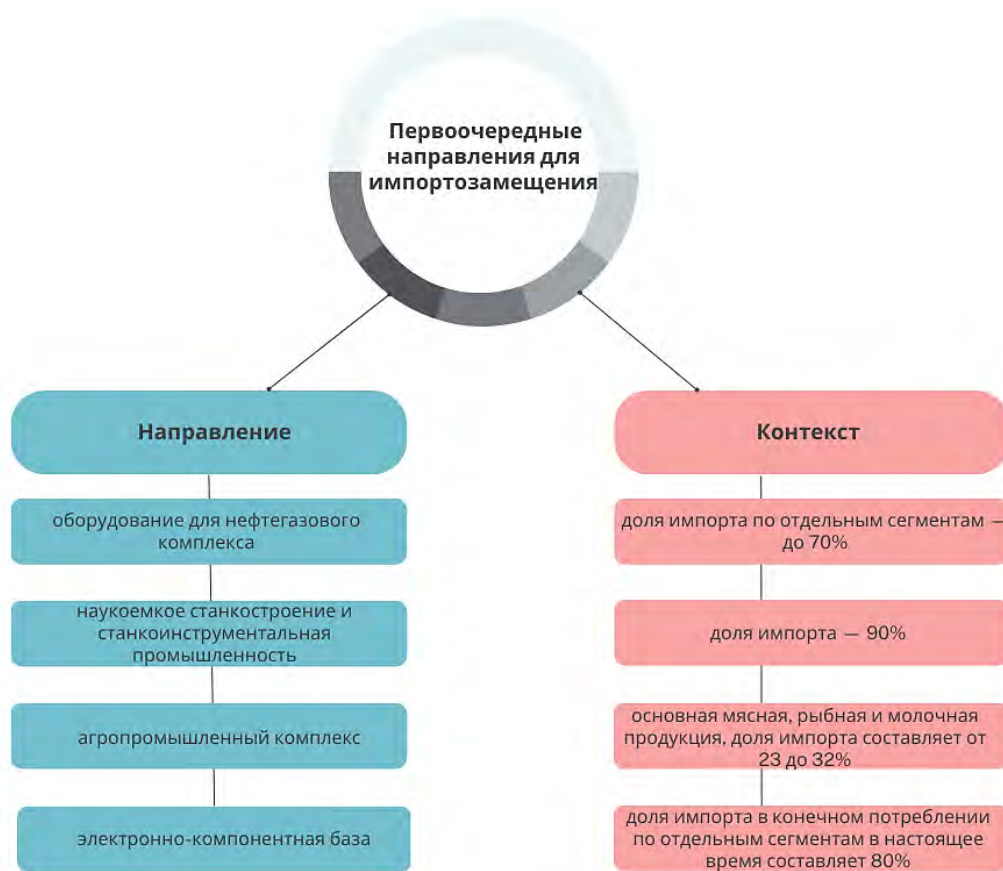


Рис. 3. Первоочередные направления для импортозамещения
Figure 3. Priority areas for import substitution

*Составлено авторами по [Li Zhentao, Li Tianzi, 2022; Манаева, 2022]

Что касается российского энергетического сектора, то ограничения западных стран в отношении российских технологий добычи энергии влияют не только на разработку новых нефтяных и газовых скважин, но и на эффективность добычи нефти из нефтяных скважин. Кроме того, финансовые ограничения в отношении российского энергетического сектора влияют на деятельность энергетических компаний. Хотя экономические санкции стимулировали развитие российской индустрии импортозамещения, Россия не может в краткосрочной перспективе заменить технологии и оборудование для добычи энергии западных стран отечественной продукцией. На долгосрочное развитие российского энергетического сектора повлияли технологические ограничения и финансовые санкции.

Торговые издержки могут быть важным фактором в объяснении взаимосвязи между экономическими санкциями и региональными различиями в России. Экономические санкции можно рассматривать как запретительные тарифы [Waits, 1996], увеличивающие относительные торговые издержки страны-цели и страны-отправителя. В то же время они снижают относительные торговые издержки страны-мишени и не вовлечённых в санкции стран. Таким образом, экономические санкции изменили торговые издержки в разных регионах, что, в свою очередь, вызвало различия в региональном экономическом развитии. Экономические санкции обострили отношения между Россией и западными странами. Чтобы получить новый импульс для национального развития, Россия начала ускорять темпы продвижения на восток и укреплять сотрудничество со странами Азиатско-Тихоокеанского региона, включая Китай, крупнейшую в мире развивающуюся экономику. Это должно компенсировать экономические потери, вызванные ухудшением отношений с западными странами.

При переходе экономики мирного времени к мобилизации всех ресурсов необходима перестройка всех системных связей между регионально-отраслевыми комплексами, экономическими системами, в рамках социально-экономических и управленческих отношений. Это подразумевает, что генерация, развитие и формирование ресурсного потенциала должны проходить протокол диверсификации развития региональной экономики в рамках двух составляющих: оборонно-промышленного комплекса и экономики вооружённых сил [Гранберг, 2019].

Важно также отметить, что эволюционное развитие экономических систем последних десятилетий привело к тому, что государство с доминированием военной экономики отличается более высоким технологическим развитием, а также инновационной продуктивностью, обусловленными прорывным формированием новых товаров и услуг. Это абсолютно инновационные системы, в которых объём инноваций гораздо выше, чем в отраслях экономики мирного времени, что в том числе важно принимать во внимание [Третьякова, Астахин, 2020].

Локальное развитие региональных экономических систем, его направление, продуктивность и его экономическая апробация способствуют повышению эффективности процесса генерации ресурсного потенциала, обуславливают максимизацию его вовлечённости в такие сферы экономического развития, которые раньше не представляли интереса для региона, или же их реализация была невозможна из-за отсутствия ресурсного потенциала [Минакир, 2018].

Это связано с тем, что в данном случае мы ориентируемся исключительно на внутренние ресурсные объёмы и потоки, с целью задействования совокупного ресурсного потенциала конкретного региона для максимального удовлетворения потребностей регионального пространства: потребности биосферы, техносферы, производства, социума и т. д.

Заключение

Так, исследование позволило рассмотреть взаимозависимость между экономическими санкциями и региональными различиями внутри России с учетом таких направлений, как развитие промышленности, региональный протекционизм. Рассмотрена роль локальных ресурсов как важной составляющей регионального развития. На основании оценки и обобщения удалось определить, что ресурсная составляющая региона является ценным многовекторным инструментом в процессе модернизации и развитии при условии их активной мобилизации и целенаправленного использования в рамках поставленных задач, в том числе при интеграции инноваций в условиях локализации.

Важно подчеркнуть, что санкции и текущая политика недружественных стран негативно сказались на региональном экономическом развитии России, однако выбранный экономический курс с активным внедрением импортозамещающих мероприятий, а также налаживание отношений со странами восточного региона планеты позволят нивелировать

негативный эффект санкций, основная задача на данном этапе — сбалансированное распределение ресурсов и налаживание производства.

Список источников

- Жихаревич Б.С. Новые макрорегионы России – опыт ретроспективного ранжирования по уровню конкурентоспособности/ Консорциум Леонтьевский центр – AV Group, 2019. URL: <https://leontief-centre.ru/UserFiles/Files/zhikhKFU.pdf> (дата обращения 15.02.2023).
- Рейтинговое агентство «Эксперт». Макроэкономика. Россия. Санкционномика: развилки, коридоры и выходы. URL: https://www.raexpert.ru/researches/sancinomics_2022/ (дата обращения 14.02.2023).
- Российский статистический ежегодник. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения 15.02.2023).
- Стратегия пространственного развития Российской Федерации до 2025 года / Распоряжение Правительства РФ от 03 февраля 2019 года N 207-Р (с изменениями на 30 сентября 2022 г.). URL: <https://base.garant.ru/72174066/?ysclid=lggejt4rkl981345619> (дата обращения 15.02.2023).
- Location theory of Johann Heinrich von Thünen. URL: <https://www.britannica.com/topic/location-theory> (дата обращения 15.02.2023).
- The Global Competitiveness Report, 2011–2012. World Economic Forum. Geneva, 2012, 381 p.

Список литературы

- Бухвальд Е.М., Кольчугина А.В. 2019. Стратегия пространственного развития и приоритеты национальной безопасности Российской Федерации. Экономика региона, 15(3): 631–643
- Владыка М.В., Стрябкова Е.А., Лыщикова Ю.В., Горбунова Е.И. 2022. Факторы развития конкурентоспособности регионов. Экономика. Информатика, 49(1): 5–16.
- Гагарина Г.Ю., Гришин В. И. 2018. Российское экономическое пространство: проблемы и перспективы реструктуризации: монография. М., НИЦ «ИНФРА-М», 187 с.
- Гранберг А.Г. 2019. Стратегия территориального социально-экономического развития России: от идеи к реализации. Вопросы экономики, 9: 15–28.
- Зубаревич Н.В. 2017. Развитие российского пространства: барьеры и возможности региональной политики. Мир новой экономики, 11(2): 46 – 57.
- Зюзин А.В., Демидова О.А., Долгопята Т.Г. 2020. Локализация и диверсификация российской экономики: региональный и отраслевой аспект. Пространственная экономика, 16 (2): 39–69.
- Лаврикова Ю.Г., Суворова А.В. 2020. Оптимальная пространственная организация экономики региона: поиск параметров и зависимостей. Экономика региона, 16(4): 1017–1030. DOI: 10.17059/ekon.reg.2020-4-1
- Макарова М.Н. 2013. Формирование мониторинга социально-трудовых систем муниципальных образований с учетом их пространственной локализации. Автореферат дисс. на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Екатеринбург, 27 с.
- Манаева И.В. 2022. Условия и факторы динамичного развития городов России: эмпирический анализ. Экономика промышленности, 15(4): 453–465. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-4-453-465>.
- Минакир П.А. 2018. «Стратегия пространственного развития» в интерьере концепций пространственной организации экономики. Пространственная экономика, 4: 8–20.
- Стрябкова Е.А. 2016. Повышение конкурентоспособности региона на основе кластерной политики: теория и методология. Дисс. на соискание степени доктора экономических наук. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Белгород,
- Третьякова Л.А., Астахин А.С. 2020. Пространственное развитие территорий: состояние, тенденции, комплексный подход к оценке дифференциации регионов (территорий). Теоретический и научно-методический журнал «Вестник университета», 4: 107–115.
- Федоляк, В.С. 2018. Региональная экономика как хозяйственная система страны. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право, 10(1): 3–7.
- Шулбаева К.И. 2020. Природно-ресурсный потенциал региона. Конкурентный потенциал региона: оценка и эффективность использования. Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции: 88–89.

- Bondareva, Y., Vaganova, O., Vladyka, M., Kamyschanchenko, E., Stryabkova, E. 2021. Theoretical and methodological approaches to assessing the quality of regional economic space. *Economic Annals-XXI*, 193(9-10): 152–160.
- Garofoli G. 1993. Economic development, organization of production and territory. *Revue d'conomie industrielle*, 64: 22—37.
- Li Zhentao, Li Tianzi. 2022. Economic Sanctions and Regional Differences: Evidence from Sanctions on Russia. *Sustainability*, 14: 6112. <https://doi.org/10.3390/su14106112>
- Plunket A., Torre A. 2009. Les p les de comp titivité ou le retour ambigu des d clinaisons locales de la politique industrielle française. *Economia e politica industrial*, 1(3): 159—177.
- Porter M.E. 2000. Location, Competition, and Economic Development: Local Clusters in a Global Economy. *Economic Development Quarterly*, 14(1): 15-34. <https://doi.org/10.1177/089124240001400105>
- Waits, M. J. 1996. State of cluster-based economic development in Arizona. In R. Breault (Ed.). *Global networking of regional optics clusters* Denver, CO: International Society for Optical Engineering: 1-10.

References

- Buhval'd E. M., Kol'chugina A. V. 2019. Strategiya prostranstvennogo razvitiya i priority nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii [Spatial Development Strategy and national security priorities of the Russian Federation]. *Ekonomika regiona*, 15(3): 631-643.
- Vladyka M.V., Stryabkova E.A., Lyshchikova YU.V., Gorbunova E.I. 2022. Faktory razvitiya konkurentosposobnosti regionov [Factors of regional competitiveness development]. *Ekonomika. Informatika*, 49(1): 5–16.
- Gagarina G. YU., Grishin V. I. 2018. Rossijskoe ekonomicheskoe prostranstvo: problemy i perspektivy restrukturizacii [The Russian economic space: problems and prospects of restructuring]: monografiya. M., NIC «INFRA-M», 187 s.
- Granberg A.G. 2019. Strategiya territorial'nogo social'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossii: ot idei k realizacii [Strategy of territorial socio-economic development of Russia: from idea to implementation]. *Voprosy ekonomiki*, 9: 15-28.
- Zubarevich N.V. 2017. Razvitie rossijskogo prostranstva: bar'ery i vozmozhnosti regional'noj politiki [Development of the Russian space: barriers and opportunities of regional policy]. *Mir novoj ekonomiki*, 11(2): 46 – 57.
- Zyuzin A.V., Demidova O. A., Dolgopyatova T. G. 2020. Lokalizaciya i diversifikaciya rossijskoj ekonomiki: regional'nyj i otraslevoj aspekt [Localization and diversification of the Russian economy: regional and sectoral aspect]. *Prostranstvennaya ekonomika*, 16 (2): 39-69.
- Lavrikova YU. G., Suvorova A. V. 2020. Optimal'naya prostranstvennaya organizaciya ekonomiki regiona: poisk parametrov i zavisimostej [Optimal spatial organization of the region's economy: search for parameters and dependencies]. *Ekonomika regiona*, 16(4): 1017–1030. DOI: 10.17059/ekon.reg.2020-4-1
- Makarova M.N. 2013. Formirovanie monitoringa social'no-trudovyh sistem municipal'nyh obrazovanij s uchetom ih prostranstvennoj lokalizacii [Formation of monitoring of social and labor systems of municipalities, taking into account their spatial localization]. *Avtoreferat diss. na soiskanie uchenoj stepeni kandidata ekonomicheskikh nauk*. Ekaterinburg, 27 s.
- Manaeva I.V. 2022. Usloviya i faktory dinamichnogo razvitiya gorodov Rossii: empiricheskij analiz [Conditions and factors of dynamic development of Russian cities: empirical analysis]. *Ekonomika promyshlennosti*, 15(4): 453-465. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-4-453-465>. (in Russian)
- Minakir P.A. 2018. «Strategiya prostranstvennogo razvitiya» v inter'ere koncepcij prostranstvennoj organizacii ekonomiki ["Spatial development strategy" in the interior of the concepts of spatial organization of the economy]. *Prostranstvennaya ekonomika*, 4: 8–20.
- Stryabkova E.A. 2016. Povyshenie konkurentosposobnosti regiona na osnove klasternoj politiki: teoriya i metodologiya [Improving the competitiveness of the region based on cluster policy: theory and methodology]. *Diss. na soiskanie stepeni doktora ekonomicheskikh nauk*. Belgorodskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet. Belgorod.
- Tret'yakova L.A., Astahin A.S. 2020. Prostranstvennoe razvitie territorij: sostoyanie, tendencii, kompleksnyj podhod k ocenke differenciacii regionov (territorij) [Spatial development of territories: the state, trends, an integrated approach to assessing the differentiation of regions (territories)]. *Teoreticheskij i nauchno-metodicheskij zhurnal «Vestnik universiteta»*, 4: 107-115.

- Fedolyak, V.S. 2018. Regional'naya ekonomika kak hozyajstvennaya sistema strany [Regional economy as the economic system of the country]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo*, 10(1): 3–7.
- Shulbaeva K.I. 2020. Prirodno-resursnyj potencial regiona [Prirodno-resursnyj potencial regiona]. *Konkurentnyj potencial regiona: ocenka i effektivnost' ispol'zovaniya Sbornik statej VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*: 88–89.
- Bondareva, Y., Vaganova, O., Vladyka, M., Kamyschanchenko, E., Stryabkova, E. 2021. Theoretical and methodological approaches to assessing the quality of regional economic space. *Economic Annals-XXI*, 193(9-10): 152–160.
- Garofoli G. 1993. Economic development, organization of production and territory. *Revue d' economie industrielle*, 64: 22–37.
- Li Zhentao, Li Tianzi. 2022. Economic Sanctions and Regional Differences: Evidence from Sanctions on Russia. *Sustainability*, 14: 6112. <https://doi.org/10.3390/su14106112>
- Plunket A., Torre A. 2009. Les p les de comp titivit ou le retour ambigu des d clinaisons locales de la politique industrielle fran aise. *Economia e polotica industrial*, 1(3): 159–177.
- Porter M.E. 2000. Location, Competition, and Economic Development: Local Clusters in a Global Economy. *Economic Development Quarterly*, 14(1): 15–34. <https://doi.org/10.1177/089124240001400105>
- Waits, M. J. 1996. State of cluster-based economic development in Arizona. In R. Breault (Ed.). *Global networking of regional optics clusters* Denver, CO: International Society for Optical Engineering: 1–10.

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

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

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

Третьякова Марина Сергеевна, аспирант 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 Applied Economics and Economic Security, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

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

Marina S. Tretyakova, postgraduate student of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 332.14

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-248-256

Системное оптимизационное моделирование региональной экономики

Чистникова И.В.

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

Аннотация. Статья посвящена поиску решений по оптимизации системообразующих параметров региональной экономики. К исследованию территориального развития применен системный подход. Визуализирована базовая нейросеть для системного оптимизационного моделирования региональной экономики. Установлены параметры системной оптимизационной модели региональной экономики и их пороговые значения. Разработана «паркетная» структура оптимизационной модели системной региональной экономики. Результаты исследования могут использоваться представителями органов власти в качестве базы для мониторингового комплекса оценки эффективности развития социально-экономической системы. В процессе мониторинга следует акцентировать внимание на необходимости достижения в регионе указанных пороговых значений параметров оптимизационной модели или превышения их величин.

Ключевые слова: экономика региона, системная экономика, системное моделирование, оптимизационное моделирование, структура оптимизационной модели

Для цитирования: Чистникова И.В. 2023. Системное оптимизационное моделирование региональной экономики. Экономика. Информатика, 50(2): 248–256. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-248-256

System Optimization Modeling of Regional Economy

Irina V. Chistnikova

Belgorod National Research University
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: chistnikova@bsu.edu.ru

Abstract. The article is devoted to the search for solutions to optimize the system-forming parameters of the regional economy. A systematic approach has been applied to the study of the territory. The basic neural network for system optimization modeling of regional economy is visualized. The parameters of the system optimization model of the regional economy and their threshold values are established. The "parquet" structure of the optimization model of the systemic regional economy has been developed. The results of the study can be used by representatives of the authorities as a basis for monitoring the effectiveness of the development of the socio-economic system. In the monitoring process, attention should be focused on the need to achieve the specified threshold values of the optimization model parameters in the region or exceed their values.

Keywords: regional economy, system economy, system modeling, optimization modeling, optimization model structure

For citation: Chistnikova I.V. 2023. System Optimization Modeling of Regional Economy. Economics. Information technologies, 50(2): 248–256 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-248-256

Введение

Радикальные сдвиги развития экономики и общества масштабируют и усложняют процессы трансформации системы на различных иерархических уровнях. Актуальность теоретико-методологических проблем выработки парадигмы управления развитием территорий требуют анализа и пересмотра подходов и процедур.

Под давлением практических задач возникла необходимость рассмотрения региона как системного объекта. Метод системного моделирования является наиболее перспективным для управления территориями в современных условиях, так как он обеспечивает комплексный учет множества факторов, балансирует объемы предложения и потребностей [Уандыкова, Елеукулова, 2017].

Для анализа уровня сбалансированности экономики регионов следует проводить комплексные исследования структуры производства и экономического роста, устанавливать логические соотношения между территориальными переменными в контексте обеспечения роста благосостояния.

Модернизация аппарата прогнозирования пространственной структуры экономики России включает постановку и реализацию оптимизационной модели [Коломак, Суспицын, 2018].

Практическая реализация системного моделирования существенно расширяет применяемый инструментарий пространственно-географических и экономических подходов, позволяет исследовать региональную систему как целостный объект [Щербаков, 2017].

Изучение региональной экономики методом системного анализа предусматривает алгоритмизацию социально-экономической системы для измерения ее данных, поиска оптимальных решений и состояний на основе построенных динамических и статистических моделей [Медведев, 2013].

Объекты и методы исследования

В статье найдла применение системная парадигма функционирования региональной экономики. Содержание данного метода исследования заключается в вычленении из целого интересующих элементов, изучении их по отдельности и определении на этой основе закономерностей целого. Подход позволил обозначить существенные свойства региональной системы и ее частей.

Несмотря на то, что экономико-математическое моделирование в его развитых формах обычно является инструментарием в широком смысле, в статье оно приложено к территориальным образованиям для оптимизации экономики и ее территориально-хозяйственных комплексов.

Оптимизационное моделирование применено для поиска наилучших решений при установлении параметров региональной социально-экономической системы в условиях ограниченности ресурсов.

Методом анализа выявлены ключевые элементы структуры региональной социально-экономической системы, и определен характер их взаимозависимостей.

Инструментарий системного моделирования применен для исследования социально-экономического положения и развития регионов как базы для обоснования управленческих решений, выработки рациональных вариантов экономической политики.

Методом формализации представлено содержание системной оптимизационной модели региональной экономики.

Результаты и их обсуждение

Экономическая система – это сложная по структуре, многосвязная, многофункциональная и принципиально открытая система, функционирующая в условиях случайных возмущений. Если режим функционирования, как способа достижения экономических результатов нарушается, то возникают «принудительные возмущения», вынужденно корректирующие

поведение экономической системы. Такие возмущения возникают в особые периоды развития экономической системы (экологические и военные катаклизмы, политическая нестабильность, реализация глобальных проектов и т.п.) [Исмаилова, Будник, 2015].

Клейнер Г.Б. предложил рассматривать регион как системное социально-экономическое пространство, в котором сосуществуют и сотрудничают разнофункциональные и разноразмерные подсистемы [Клейнер, 2013].

Главной задачей при разработке модели региональной социально-экономической системы является определение взаимозависимостей параметров и установление критериев эффективности (целевых индикаторов) ее функционирования.

Построение модели системной динамики начинается с разработки карты причинно-следственных связей. Выявление и описание связей между факторами, определяющими развитие экономической системы при нормальном функционировании и возникающими вновь – это первый этап системного моделирования. Системный подход позволяет во взаимосвязи факторов увидеть уязвимые места и выработать пути решения рассматриваемой проблемы дестабилизации и ослабления экономики страны и прогнозировать эффекты, которые могут играть положительную роль для экономики в сложившейся ситуации [Исмаилова, Будник, 2015].

Ефремов А.В. высказал мнение, что теория моделирования региональных систем должна базироваться на теории информации, математической логике и теории алгоритмов, линейном, динамическом программировании, теории игр [Ефремов, 2012].

Русяк И.Г., Кетова К.В. отмечают, что для реализации целей социально-экономического прогресса территории следует основывать на оптимальных управленческих решениях. Авторы считают, что оптимизационная модель региональной экономики должна содержать требования к наилучшему соотношению объемов потребления и накопления. Их модель основана на формуле Рамсея-Касса-Купманса [Русяк, Кетова, 2005].

Бекларян Г.Л. представлена имитационная модель региона с использованием методов системной динамики и проведении численных исследований территориальных показателей с целью прогнозирования будущего состояния региона при различных сценарных условиях. Структурными компонентами данной математической модели региональной экономики (имитационной или оптимизационной) являются параметры:

- динамики промышленности, сельского хозяйства, строительства, транспорта и связи, прочих отраслей экономики;
- динамики численности населения и трудовых ресурсов;
- уровня жизни и социальная сфера;
- показателей здравоохранения;
- показателей системы образования;
- жилищно-коммунального хозяйства;
- строительства жилья;
- уровня научно-технического прогресса;
- экологии региона [Бекларян, 2019].

Модель региональной экономики Шарова В.Ф. имеет вид системы дифференциальных уравнений, обобщающих информацию о спросе, темпе цен, объемах производства, внешнеэкономической деятельности, предпринимательской активности для получения данных о социально-экономическом благосостоянии территории [Шаров, 2017].

По мнению Лычкиной Н.Н. системный подход к исследованию и управлению на региональном уровне целесообразно реализовывать на основе создания комплекса взаимосвязанных имитационных и оптимизационных моделей. То есть следует применять несколько взаимозависимых моделей для выработки рационального экономического решения [Лычкина, 2003].

Рассмотренные и другие применяемые системные и оптимизационные модели региональной экономики содержат достаточно подробную описательную часть процесса математического анализа территориального состояния. По нашему мнению, большинство применяемых

системных моделей региональной экономики перегружены математическими формулами, что усложняет их восприятие и применение на практике. Оптимизационную модель региональной социально-экономической системы можно в упрощенном виде представить графически с конкретизацией ключевых мониторинговых параметров и их пороговых значений.

Так как системная модель региональной экономики учитывает взаимосвязи положения ключевых акторов и степени развития территориальных объектов, то для поиска ее параметров предварительно составим базовую нейросеть социально-экономической системы (рис. 1).

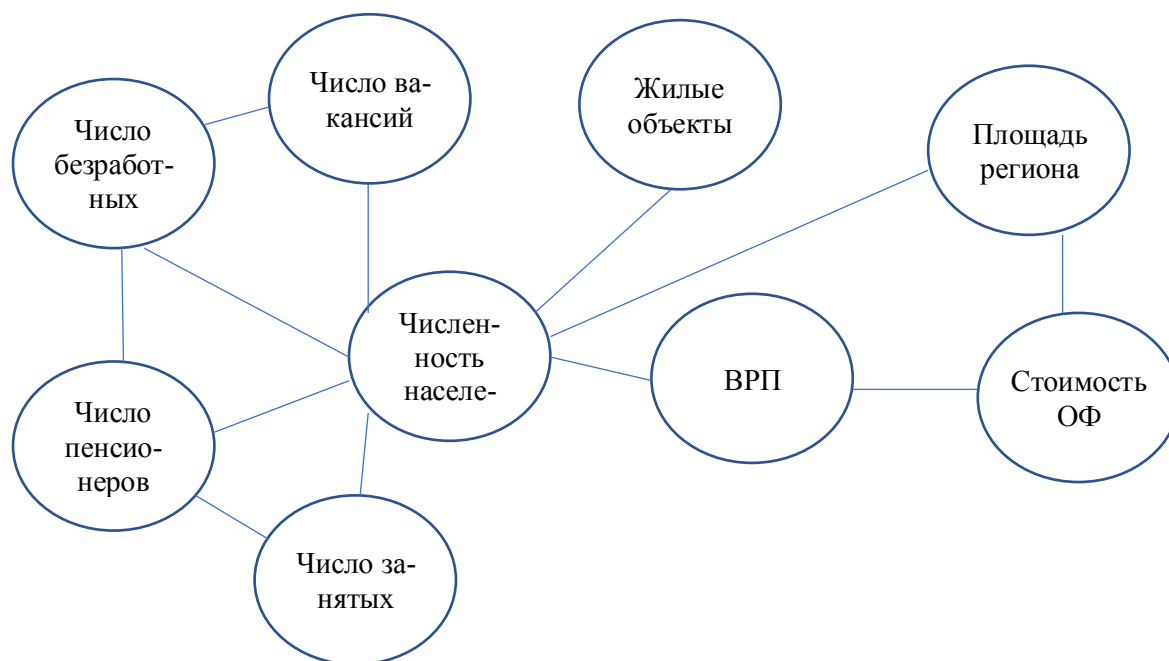


Рис. 1. Базовая нейросеть для системного
оптимизационного моделирования региональной экономики
Fig. 1. Basic neural network for system optimization modeling of regional economy

Составлено автором

Выявленные элементы базовой нейросети создают основу для выбора параметров системной оптимизационной модели региональной экономики. В качестве них считаем применить следующие шесть показателей (таблица 1).

Таблица 1
Table 1

Параметры системной оптимизационной модели региональной экономики
Parameters of the system optimization model of the regional economy

Параметр (показатель) системной модели региона	Характеристика показателя
ВРП на душу населения	Отношение валового регионального продукта в текущих основных ценах к среднегодовой численности постоянного населения
Плотность населения	Степень заселенности территории, т.е. количество жителей на 1 км ²
Фондонасыщенность региона	Стоимость основных фондов региона на единицу площади. Характеризует материальную базу и уровень развития инфраструктуры
Соотношение численности занятого населения к численности пенсионеров	Коэффициент показывает, сколько работающих граждан приходится на одного пенсионера, что характеризует объем страховых взносов для пенсионного обеспечения



Окончание табл. 1
End table 1

Параметр (показатель) системной модели региона	Характеристика показателя
Соотношение числа вакансий к численности безработных	Показывает реальную опасность безработицы и обеспеченность трудовыми ресурсами
Обеспеченность населения жильем	Отношение размера жилого фонда к численности постоянного населения

Составлено автором

Выбор данного набора параметров обуславливает их системообразующее значение для региональной экономики и развития общества. Данные переменные оказывают комплексное влияние на функционирование и состояние территории.

ВРП на душу населения считается наиболее точным индикатором уровня доходов в регионе, характеризующим эффективность и результативность социально-экономической системы. Плотность населения отражает степень привлекательности территории для граждан и обеспеченность региона трудовыми ресурсами, она непосредственно влияет на величину ВРП на душу населения. Фондонасыщенность региона характеризует мощность регионального производственного комплекса и уровень обеспеченности произведенными активами, напрямую воздействует на объем ВРП. Соотношение занятого населения к численности пенсионеров является индикатором материального благополучия неработающих граждан (пенсионеров) и важным индикатором уровня жизни в регионе. Соотношение числа вакансий к численности безработных свидетельствует о реальности угрозы безработицы и дефицита кадров в регионе. Обеспеченность жильем отражает уровень социальной защищенности населения и устойчивости общества в регионе, что влияет на плотность населения.

Регламентация и нормирование данного набора параметров способны генерировать благоприятные предпосылки и создавать закономерности социально-экономического развития территорий.

Пороговые значения, как территориальные оптимумы параметров системной модели региональной экономики, целесообразно установить на уровне среднероссийских величин. Средний по регионам России размер жилого фонда в расчете на одного жителя составляет 27 м². Для определения пороговых величин остальных переменных системной оптимизационной модели региональной экономики рассмотрим статистические данные об их значениях в регионах страны (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Статистические данные значений параметров системной модели региона
(максимальные, минимальные и средние величины по регионам России) в 2021 г.
Statistical data of the values of the parameters of the system model of the region
(maximum, minimum and average values for the regions of Russia) in 2021

Параметр (показатель) системной модели региона									
ВРП на душу населения, тыс. руб./чел.		Плотность населения, чел./км ²		Фондонасыщенность региона, млн. руб./ км ²		Соотношение занятых к численности пенсионеров, коэф.		Нагрузка незанятого населения в расчете на одну вакансию, коэф.	
Регион	значение	Регион	значение	Регион	значение	Регион	значение	Регион	значение
Максимальные значения по регионам									
Ямало-Ненецкий	5013,58	г. Москва	4859,81	г. Москва	27585	Ямало-Ненецкий	2,95	Республика Ингушетия	65,3
Чукотский ОА	2400	г. Санкт-Петербург	3841,07	г. Санкт-Петербург	16449,29	г. Москва	2,79	Республика Дагестан	26,1

Окончание табл. 2
End table 2

Параметр (показатель) системной модели региона									
ВРП на душу населения, тыс. руб./чел.		Плотность населения, чел./км ²		Фондонасыщенность региона, млн. руб./ км ²		Соотношение занятых к численности пенсионеров, коэф.		Нагрузка незанятого населения в расчете на одну вакансию, коэф.	
Регион	значение	Регион	значение	Регион	значение	Регион	значение	Регион	значение
Сахалинская обл.	2071,46	г. Севастополь	580,11	г. Севастополь	1098,89	Ханты-Мансийский АО	2,40	Чеченская Республика	21,6
Магаданская обл.	2060,96	Московская обл.	175,37	Московская обл.	676,19	Чукотский АО	2,33	Республика Тыва	11,3
Ханты-Мансийский АО	1970,39	Республика Ингушетия	169,06	Краснодарский край	185,03	Тюменская обл.	2,23	Республика Северная Осетия – Алания	4,6
Минимальные значения по регионам									
Республика Дагестан	237,17	Ямало-Ненецкий АО	0,72	Камчатский край	2,22	Республика Адыгея	1,22	Белгородская обл., Калужская обл., Тульская обл., Мурманская обл., г. Севастополь, Республика Татарстан, Нижегородская обл., Тюменская обл., Красноярский край, Иркутская обл., Приморский край, Амурская обл., Еврейская АО	0,2
Кабардино-Балкарская	210,22	Камчатский край	0,67	Республика Саха (Якутия)	1,51	Архангельская область	1,19		
Караево-Черкесская	208,96	Республика Саха (Якутия)	0,32	Республика Тыва	1,39	Республика Карелия	1,14		
Чеченская Республика	167,5	Магаданская обл.	0,3	Магаданская обл.	1,21	Орловская обл.	1,13		
Республика Ингушетия	139,29	Чукотский АО	0,07	Чукотский АО	0,41	Курганская обл.	1,06	Ленинградская область, Ямало-Ненецкий АО	0,1
Среднее значение	644,49	Среднее значение	8,50	Среднее значение	23,37	Среднее значение	1,65	Среднее значение	0,5

Составлено автором по данным Росстата

О несбалансированности территориального социально-экономического развития страны свидетельствует существенный разброс значений показателей в регионах, следовательно, территориальные образования обладают разными качественными свойствами, а пространство страны является диспропорциональным. Системное моделирование следует применить для трансферта нормативных условий и успешных сценариев регионов-лидеров на другие территории.

На основе выявленных средних величин показателей установим пороговые значения параметров и представим «паркетную» структуру оптимизационной модели системной региональной экономики (рис. 2).

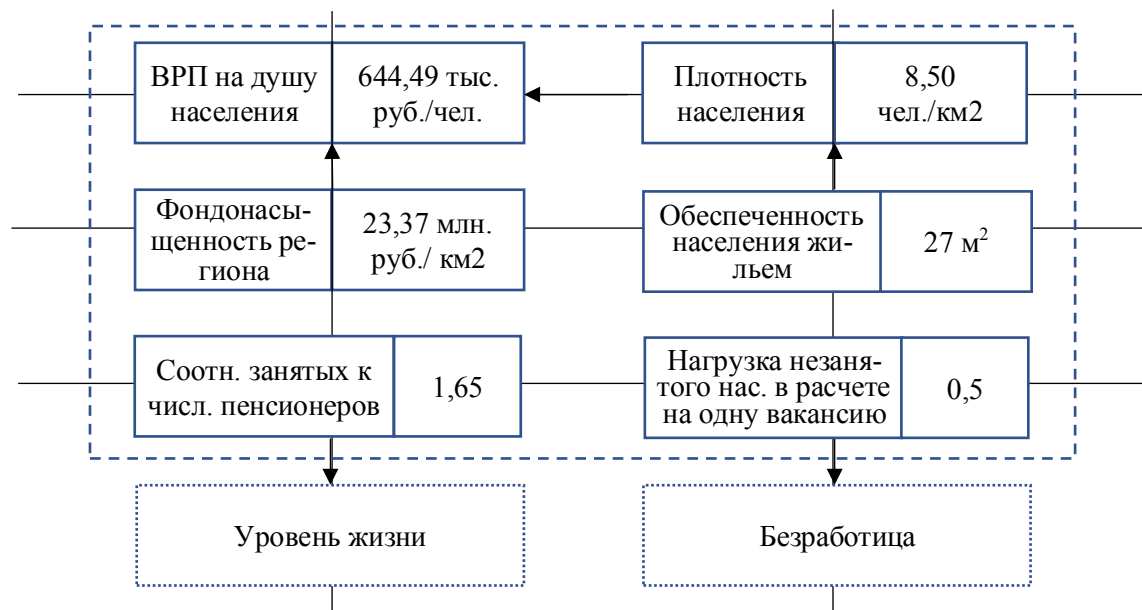


Рис. 2. «Паркетная» структура оптимизационной модели системной региональной экономики
Fig. 2. «Parquet» structure of the optimization model of the systemic regional economy

Составлено автором

Предложенная системная оптимизационная модель региональной экономики, визуализированная в форме «паркетной» структуры, может использоваться представителями органов власти в качестве базы для мониторингового комплекса эффективности развития социально-экономической системы. В процессе мониторинга следует акцентировать внимание на необходимости достижения в регионе указанных пороговых значений параметров оптимизационной модели или превышения их величин.

Подобное системное представление комплекса и нормативы величин значимых переменных региональной экономики, характера их взаимовлияния позволяет изучать состояние и достижения территориальной социально-экономической системы для обеспечения прогресса и пространственного равновесия.

Заключение

Аналитические принципы системной парадигмы необходимы для комплексных исследований структурных элементов регионального комплекса.

Задачу модернизации региональной экономики целесообразно решать на основе создания новой модели социально-экономической системы. Предложенная методическая архитектура и модельный комплекс оптимальной региональной социально-экономической системы согласовываются со стратегическими интересами всех заинтересованных групп.

Продолжить исследование целесообразно разработкой направлений достижения установленных пороговых значений параметров оптимизационной модели территориальной экономики.

Список источников

- Жилищное хозяйство в России. 2022: Стат. сб./ Росстат. - М., 2022. – 83 с.
Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Стат. сб. / Росстат. – М., 2022. – 1122 с.

Список литературы

- Бекларян Г.Л. 2019. Имитационная модель региона в применении к анализу экономики Красноярского края. Экономика и математические методы, 55 (3): 47-61.
- Ефремов А.В. 2012. Сущность оптимизационного моделирования региональной экономики. Экономика и управление, 5: 43-55.
- Исмагилова Л. А., Будник Е. Е. 2015. Системное моделирование экономики региона в условиях принудительных возмущений. Управление экономикой: методы, модели, технологии: материалы XV Международной научной конференции. В 2 т. Т. 2 / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т.: 153-156.
- Клейнер Г.Б. 2013. Системная экономика и системно-ориентированное моделирование. Экономика и математические методы, 49 (4): 71-93.
- Коломак Е.А., Суспицын С.А. 2018. Развитие методологии теоретических и прикладных исследований пространственных систем. Регион: экономика и социология, 3: 252-276.
- Лычкина Н.Н. 2003. Имитационное моделирование социально-экономического развития регионов. Имитационное моделирование. Теория и практика: сборник докладов Первой всероссийской научно-практической конференции ИММОД, 2: 79-83.
- Медведев А.В. 2013. Концепция оптимизационно-имитационного моделирования регионального социально-экономического развития. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 7: 21-24.
- Русяк И.Г., Кетова К.В. 2005. Математическое моделирование открытой региональной экономической системы. Фундаментальные исследования, 10: 73-74.
- Уандыкова М. К., Елеукулова А. Д. 2017. Системные основы управления инновационным развитием региона. Экономика и управление: проблемы, решения, 3 (6): 107-111.
- Шаров В.Ф. 2017. Реализация системного подхода при построении модели социально-экономического развития, Экономика и управление: проблемы, решения, 3 (6): 29-32.
- Щербаков Г.А. 2017. Системная парадигма в экономической науке: «новое издание» системного подхода в XXI веке, Экономика и управление: проблемы, решения, 3 (6): 44-48.

References

- Beklaryan G.L. 2019. Imitacionnaya model' regiona v primenenii k analizu ekonomiki Krasnoyarskogo kraja [Simulation model of the region in application to the analysis of the economy of the Krasnoyarsk Territory]. Ekonomika i matematicheskie metody, 55 (3): 47-61.
- Efremov A.V. 2012. Sushchnost' optimizatsionnogo modelirovaniya regional'noj ekonomiki [The essence of optimization modeling of the regional economy]. Ekonomika i upravlenie, 5: 43-55.
- Ismagilova L. A., Budnik E. E. 2015. Sistemnoe modelirovanie ekonomiki regiona v usloviyah prinuditel'nyh vozmushchenij [System modeling of the regional economy in the conditions of forced disturbances]. Upravlenie ekonomikoj: metody, modeli, tekhnologii: materialy XV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. V 2 t. T. 2 / Ufimsk. gos. aviac. tekhn. un-t. – Ufa: Ufimsk. gos. aviac. tekhn. un-t.: 153-156.
- Klejner G.B. 2013. Sistemnaya ekonomika i sistemno-orientirovannoe modelirovanie [System economics and system-oriented modeling]. Ekonomika i matematicheskie metody, 49 (4): 71-93.
- Kolomak E.A., Suspicyun S.A. 2018. Razvitie metodologii teoreticheskikh i prikladnykh issledovanij prostanstvennykh sistem [Development of methodology of theoretical and applied research of spatial systems]. Region: ekonomika i sociologiya, 3: 252-276.
- Lychkina N.N. 2003. Imitacionnoe modelirovanie social'no-ekonomicheskogo razvitiya regionov [Simulation modeling of socio-economic development of regions]. Imitacionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika: sbornik dokladov Pervoj vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii IMMOD, 2: 79-83.
- Medvedev A.V. 2013. Konceptiya optimizatsionno-imitatsionnogo modelirovaniya regional'nogo social'no-ekonomicheskogo razvitiya [The concept of optimization and simulation modeling of regional socio-economic development]. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij, 7: 21-24.
- Rusyak I.G., Ketova K.V. 2005. Matematicheskoe modelirovanie otkrytoj regional'noj ekonomicheskoy sistemy [Mathematical modeling of an open regional economic system]. Fundamental'nye issledovaniya, 10: 73-74.



- Uandykova M. K., Eleukulova A. D. 2017. Sistemnye osnovy upravleniya innovacionnym razvitiem regiona [System bases of management of innovative development of the region]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*, 3 (6): 107-111.
- Sharov V.F. 2017. Realizaciya sistemnogo podhoda pri postroenii modeli social'no-ekonomicheskogo razvitiya [Implementation of a systematic approach in building a model of socio-economic development]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*, 3 (6): 29-32.
- Shcherbakov G.A. 2017. Sistemnaya paradigma v ekonomicheskoy nauke: «novoe izdanie» sistemnogo podhoda v XXI veke [The System Paradigm in Economics: a "new Edition" of the system Approach in the XXI Century]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*, 3 (6): 44-48.

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

Чистникова Ирина Вячеславовна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Irina V. Chistnikova, PhD in Economics, Associate Professor; Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

INVESTMENT AND INNOVATIONS

УДК 338.2

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-257-275

Искусственный интеллект в системе таможенного администрирования: теоретико-методологические положения и модели

Любкина Е.О., Макрусев В.В.

Российская таможенная академия,

Россия, 143913, Московская область, г. Люберцы, Комсомольский проспект, д.4

E-mail: lbknk@yandex.ru, makrusev@mail.ru

Аннотация. Целью является определение базисных теоретико-методологических положений интеллектуальной трансформации системы таможенного администрирования. Для достижения цели были поставлены и решены задачи по анализу и обоснованию экономической эффективности процесса интеллектуализации, представлению мультизадачной модели управления как условия интеллектуализации, формулированию идеи мультимодального подхода к управлению. Результаты исследования позволили представить модель интеллектуализации и познавательной деятельности, описать алгоритм формирования знаний в процессе принятия управленческих решений. В ходе исследования раскрыты теоретические положения компетентностной и когнитивной метрологий управления интеллектуальным потенциалом, сформулировано определение когнитивных компетенций как структурных элементов искусственного интеллекта. Научной новизной исследования является формирование целостного подхода к эволюции системной интеллектуализации таможенной деятельности. Практическая значимость исследования состоит в формулировании и обосновании проблемных и перспективных направлений интеллектуализации системы таможенного администрирования на современном этапе, представлении декомпозиции проблемы интеллектуализации таможенной системы, с целью дальнейшей интеграции полученных результатов в практику таможенного администрирования.

Ключевые слова: искусственный интеллект, гибридный интеллект, таможенное администрирование, таможенный персонал, когнитивные компетенции, клиентоцентричность, таможенные технологии, мультимодальность, мультизадачность, интеллектуальный потенциал, интеллектуализация.

Для цитирования: Любкина Е.О., Макрусев В.В. 2023. Искусственный интеллект в системе таможенного администрирования: теоретико-методологические положения и модели. Экономика. Информатика, 50(2): 257–275. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-257-275

Artificial Intelligence in the System of Customs Administration: Theoretical and Methodological Provisions and Models

Ekaterina O. Lyubkina, Viktor V. Makrusev

Russian Customs Academy,

4 Komsomolsky Prospekt, Lyubertsy, Moscow Region, 143913, Russia

E-mail: lbknk@yandex.ru, makrusev@mail.ru

Abstract. The purpose is to determine the basic theoretical and methodological provisions of the intellectual transformation of the customs administration system. To achieve the goal, the tasks of analyzing and justifying the economic efficiency of the intellectualization process, presenting a multi-tasking management model as conditions for intellectualization, and formulating the idea of a multimodal management approach were set and solved. The results of the study made it possible to present a model of intellectualization and cognitive activity, to describe an algorithm for the formation of knowledge in the process of making management decisions. In the course of the study, the theoretical provisions of competent

and cognitive metrology of intellectual potential management are disclosed, the definition of cognitive competencies as structural elements of artificial intelligence is formulated. The scientific novelty of the study is the formation of a holistic approach to the evolution of systemic intellectualization of customs activities. The practical significance of the study consists in formulating and justifying problematic and promising areas of intellectualization of the customs administration system at the current stage, presenting a decomposition of the problem of intellectualization of the customs system, in order to further integrate the results obtained into the practice of customs administration.

Keywords: artificial intelligence, hybrid intelligence, customs administration, customs personnel, cognitive competencies, customer-centric, customs technologies, multimodality, multitasking, intellectual potential, intellectualization.

For citation: Lyubkina E.O., Makrusev V.V. 2023. Artificial Intelligence in the System of Customs Administration: Theoretical and Methodological Provisions and Models. Economics. Information technologies, 50(2): 257–275. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-257-275

Введение

В условиях динамичной геополитической и социо-экономической среды требуется сосредоточить внимание на развитии потенциала государства, в том числе «подлинного технологического» [Президент России...], способного обеспечить устойчивое функционирование, развитие институтов и, как следствие, ценностного суверенитета России. Особое значение приобретает интеллектуальная трансформация технологий деятельности органов государственной власти, которая заключается во внедрении искусственного интеллекта (далее – ИИ) и моделей управления на основе данных.

Традиционный подход к управлению основывает процесс принятия управленческих решений на интуиции. Данные экспертиз принимаемых решений в системе таможенного администрирования свидетельствуют, что доля интуитивных решений составляет более 80%, в то время как 20% – это решения, принимаемые с помощью программно-технических средств, и относятся к логическим или рациональным [Макрусов, 2013].

Интуиция – это особая форма познавательного процесса, которая может выражать осознанное и неосознанное [Воронцов, 1995] представление о текущих событиях. Сознание формируется на основе ощущений или, более точно – опыта, при этом важно учитывать, что опыт адекватно отражает только конкретную ситуацию и применяется в рамках конкретной организации. Интуитивные решения не направлены на развитие организации и определение ее позиции в будущем, то есть не позволяют реализовывать концепцию стратегического управления в полном объеме. Также отсутствие инструментальной и информационной среды интуитивных решений не позволяет встроить их в технологическую среду организации, что означает непосредственно привязку таких решений к субъекту – лицу, принимающему решения (далее – ЛПР).

Быстрое и точное принятие решений на основе информационно-технологической платформы [Макрусов, Любкина, 2022] становится залогом эффективного достижения цели, учитывая динамику и прогрессирующую информативность внешней среды. Повышение качества и прогнозируемости управленческих решений требует проведение глубокого анализа ситуации, причинно-следственных связей, обзора проблем. Для этого следует обработать большой объем информации об объекте управления, разрозненных и неструктурированных данных о проблеме, далее провести анализ, моделирование, прогнозирование результатов и, собственно, выработку решений. Такая технология управления сложна и трудозатратна, именно поэтому внедрение искусственного интеллекта является значимым решением для оптимизации процессов и повышения эффективности управления.

Экономическая эффективность интеллектуализации

С 2018 года различные научные институты проводят исследования о формировании и развитии интеллектуальной экономики, в том числе определяют экономическую сущность искусственного интеллекта. Представим некоторые результаты, полученные Высшей школой экономики на основе данных крупных российских предприятий и государственных структур:

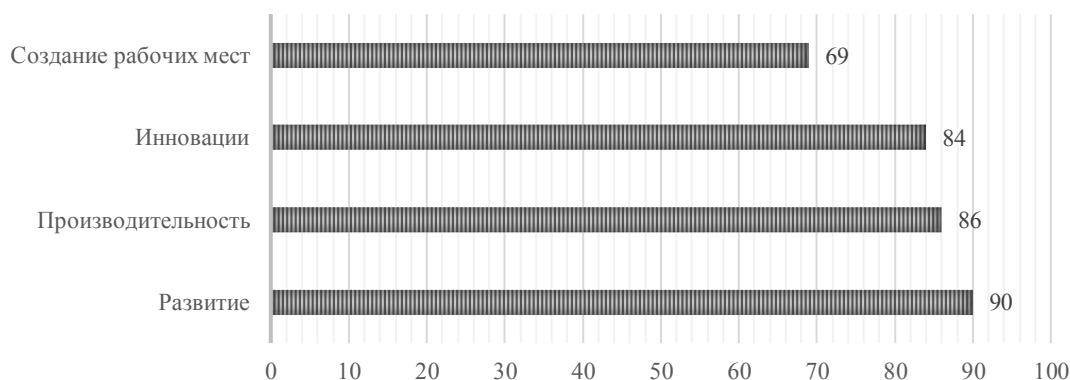


Рис.1. Диаграмма влияния искусственного интеллекта на ключевые экономические показатели (%)

Fig. 1. Chart of the Impact of Artificial Intelligence on Key Economic Indicators (%)

Источник: Составлено на основе данных Высшей школы экономики

Source: Compiled by the authors based on [The Higher School of Economics]

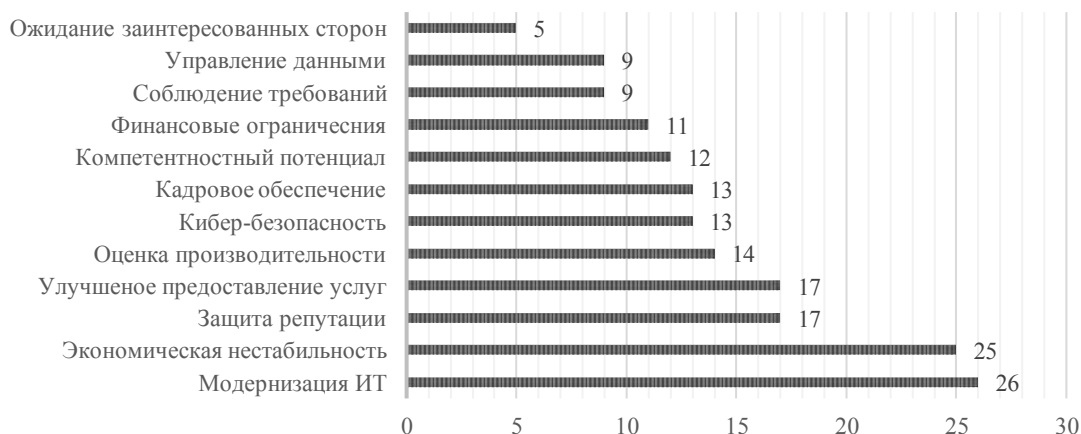


Рис.2. Диаграмма основных стратегических проблем внедрения искусственного интеллекта в государственном секторе (%)

Fig. 2. Chart of Major Strategic Challenges

of Artificial Intelligence Adoption in the Public Sector (%)

Источник: Составлено на основе данных Высшей школы экономики

Source: Compiled by the authors based on [The Higher School of Economics]

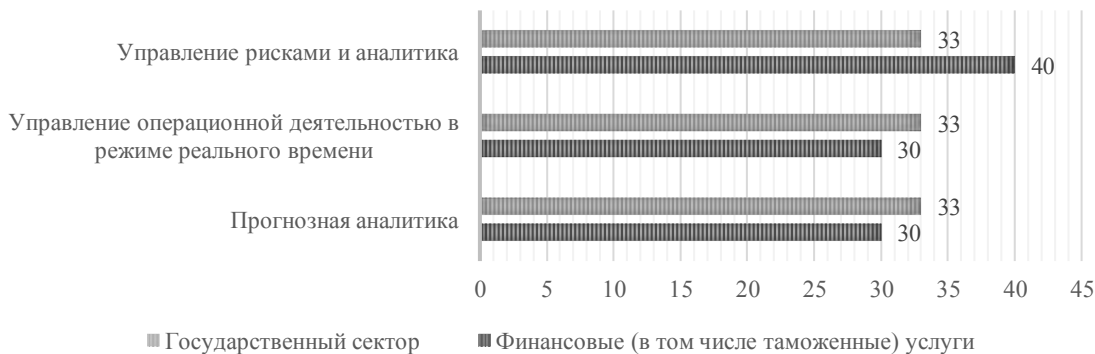


Рис.3. Распределение вариантов использования искусственного интеллекта в государственном секторе (%)

Fig. 3. Distribution of artificial intelligence use cases in the public sector (%)

Источник: Составлено на основе данных Высшей школы экономики

Source: Compiled by the authors based on [The Higher School of Economics]

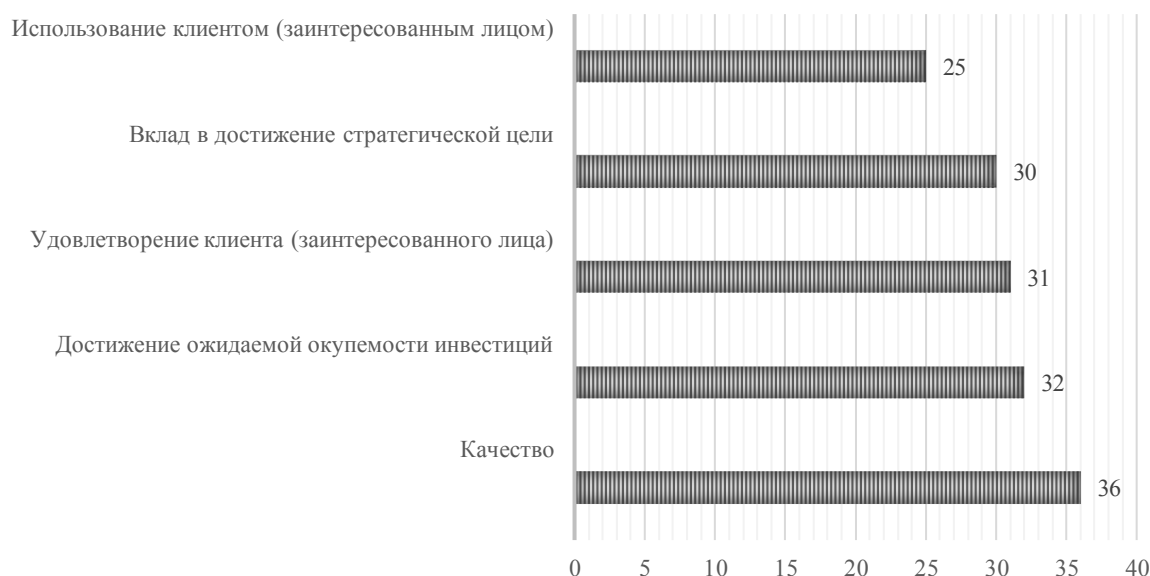


Рис.4. Диаграмма соотношения основных показателей
эффективности искусственного интеллекта (%)
Fig. 4. Chart of the ratio of the main indicators
of the effectiveness of artificial intelligence (%)

Источник: Составлено на основе данных [Высшей школы экономики]
Source: Compiled by the authors based on [The Higher School of Economics]

Представленные данные характеризуют процесс интеллектуализации деятельности организации в условиях российской экономики. Важно отметить, что данные подтверждают экономическую эффективность мер, применяемых по внедрению ИИ.

Дадим определение термину «искусственный интеллект». Первое упоминание датируется 1956 годом. Впервые он прозвучал на Дартмутском семинаре. Авторы полагали, что искусственный интеллект — это система, которая будет способна переводить тексты с одного языка на другой, распознавать объекты по фото или видео, улавливать смысл произнесенных фраз и адекватно на них отвечать [Нильсон, 1973]. В основе концепции ИИ теории интеллекта [Блейкли, 240].

В 60-ые годы XX века теорию «искусственного интеллекта» рассматривали как междисциплинарную и совместно с учеными в области психологии, философии и информатики сформулировано следующее определение: искусственный интеллект – это способность к обучению, осознанию и применению знаний на практике. Отметим, что именно такое определение стало базисом для теории и актуально на сегодняшний день, однако научные дисциплины специализируют термин с учетом направленности исследования. Например, психологи рассматривают понятие ИИ в разрезе сознания человека и особенностей его мышления, проявления индивидуальных характеристик приобретаемым и используемым знаниям с учетом социального, этического и культурного факторов [Пиаже, 2003]. В то же время информатика [Лорьер, 1991], представляет способность к обучению исключительно как алгоритм познавательного процесса, который дальше возможно унифицировать, автоматизировать и довести до автоматических команд.

Особый интерес представляет теория искусственного интеллекта в срезе экономических наук [Бутл, 2022]. Во-первых, как отмечалось ранее процесс принятия решения основан на способности применять знания на практике. Обеспечить качество знаний, уметь работать с ними, адаптировать под конкретные события и развивать с учетом изменений условий решения – это ключевые задачи управленческой деятельности современной организации, решение которых направлено на эффективное функционирование, непрерывное

развитие и устойчивую экономическую деятельность. Во-вторых, экономисты рассматривают возможности ИИ для решения задач оптимизации деятельности, снижения трудозатрат и, как следствие, повышения результативности выполняемых процессов. В срезе второго аспекта отметим, что внедрение ИИ требует соблюдение ряда условий в деятельности организации, в особенности органов государственной власти [Президент России]:

- использование передовых подходов бережного производства;
- развитие системы проектного управления.

Первое условие ориентировано на «бережливое» использование ресурсов, оптимизацию внутренних процессов и реализацию идеи риск-ориентированного подхода.

Второе условие представлено деструктуризацией системы и командной технологией управления.

Комплекс методик и инструментов бережливого производства и проектного управления ориентирован на упрощение системы управления, переходом к плоским структурам [Бондаренко, Макрусов, 2022], развитию горизонтальных и диагональных связей, которые обеспечивают процесс принятия решений, увеличению информационной емкости системы, а также внедрению концепции мультипрофильной модели [Макрусов, 2017], основное положение которой заключается в необходимости построения такой структуры управления, которая способна выполнять различные задачи. При этом, часть задач выполняется последовательно, часть – параллельно или одновременно; первая группа задач образует процесс, вторая – функционал.

Основана идея при этом состоит в том, что все задачи управления взаимоувязаны и составляют определенную целостность управленческой деятельности (например, планирование или контроллинг и т.п.) – так классически проявляется мультизадачность управления, а модели и методы их решения «взаимодействуют», «взаимообучаются» и «взаиморазвиваются» в ходе решения задач в различных условиях, что формирует новое качество функционала: мультимодальность – его способность обучаться, самообучаться, самообразовываться. При этом процесс управления в целом выполняется с учетом инновационных проектных технологий на единой (моно или распределенной) технологической платформе, а функции модернизируются и развиваются как единое целое на принципах машинного интеллекта.

Таким образом, в современной теории и практике управления, основанной на идеях ИИ, формируется новый подход, который можно определить как мультизадачный или как мультимодальный. Мультизадачный – решение проблем или комплекса задач управления осуществляется на единой технологической платформе. Мультимодальный подход предполагает системное развитие интеллектуальных возможностей функционала машинного (или платформенного) интеллекта управления. Понятно, что в данном случае платформа и функционал неразрывны; развивающийся интеллект – это согласованное развитие или саморазвитие платформы и функционала управления.

Мультизадачная модель управления как условие интеллектуализации

Отличие нового подхода от традиционных процессный и ситуационный) заключается в том, что применение даже элементов модели управления данными способствует оперативному решению многих управленческих задачи одновременно. Для реализации мультизадачного или мультимодального подхода требуется определить перечень управленческих задач, условие решения и инструмент, в дальнейшем разработка и автоматизация модели позволяет сформировать интеллектуальную среду управления. Мультизадачная (мультимодальная) модель — это бизнес-процесс организации, который представляется в виде проекта, что обеспечивает непрерывное выполнение процесса и его всестороннее развитие.

Представим примеры мультизадачной (мультимодальной) модели, которые применяются в решении задач по нейромоделированию и обучению ИИ (таблица 1).

Таблица 1
Table 1

Мультизадачные и мультимодальные модели в современной науке
Multitasking and multimodal models in modern science

Характеристики	Описание модели
Название модели	Модель «One for all» («один за всех») имеет архитектуру вида «кодировщик-декодировщик». Используются стандартные модули. Для того, чтобы модель могла обрабатывать данные, относящиеся к различным модальностям, текст, изображения и объекты на них дискретизируются и кодируются «токенами» ¹ унифицированного, единого для всех задач словаря.
Источник	OFA: Unifying Architectures, Tasks, and Modalities Through a Simple Sequence-to-Sequence Learning Framework [Li et al., 2022]
Название модели	A generalist agent («агент широкого профиля») - это мультимодальная модель, способная решать более 600 различных задач. Такое количество достигается за счет большого числа игровых задач, в которых модель выполняет роль агента и генерирует действия по входному контексту, помимо игровых задач, модель решает задачу языкового моделирования. Модель может работать с разнообразными входными данными: текстами и изображениями, стандартными для моделей глубинного обучения, а также с непрерывными и дискретными числовыми признаками.
Источник	A Generalist Agent [Gato, Reed et al., 2022]
Название модели	Многозадачные глубокие нейронные сети – это единая модель, созданная для решения различных задач в области понимания естественного языка. Нижние слои модели едины для всех задач, верхние слои специфичны для каждого типа задания. В качестве кодировщика используется многослойный двунаправленный кодировщик Процедура обучения состоит из двух стадий: предобучения и мультизадачного обучения. Во время Мультизадачные фазы разделяются по 9 заданий и веса модели обновляются согласно целевой функции, использующейся для конкретного задания.
Источник	Multi-Task Deep Neural Network [MT-DNN, Liu, He et al., 2019]
Название модели	Мультизадачное обучение модели «Hypergrid Transformers» обеспечивается благодаря использованию декомпозиционной гиперсети (сети, которая генерирует веса для основной модели), которая выучивает проекции, позволяющие выделять отдельные регионы в матрице весов в зависимости от задачи, обеспечивая специализацию подсети. Для построения подобной гиперсети используются локальная (зависящая от примера и задачи) и глобальная (независимая от задачи) проекции.
Источник	HyperGrid Transformers: Towards A Single Model for Multiple Tasks [Tay et al., 2021]
Название модели	Адаптивная модель представляет технологию дообучению базовых моделей: вместо того, чтобы полностью дообучать «тяжеловесные» модели, предлагается использовать «адаптеры» – легковесные слои, которые включаются в каждый слой большой предобученной модели; именно эти слои обучаются в процессе дообучения, в то время как веса трансформера остаются неизменными. Таким образом, с помощью адаптеров происходит кодирование специфичных для конкретного задания репрезентаций в слоях предобученной модели:
Источник	AdapterHub: A Framework for Adapting Transformers [Pfeiffer et al., 2020]

Источник: Составлено авторами
Source: Compiled by the authors

¹ Токен – единица учета обрабатываемых данных.

В теории таможенного администрирования и управления деятельностью таможенных органов теоретические образцы мультизадачной (мультимодальной) модели представлены в работах Макрусева В.В. [Макрусев, 2017] и Насибуллина А.А. [Насибуллин, 2021]

В первой работе представлена мультипрофильная модель, которая согласовывает и систематизирует управление таможенными органами на основе процессного, сервисного и функционального подходов, соответственно три модуля обеспечивают управление процессами, услугами и функциями.

Во второй работе представлена идея мультипрофильной модели управления рисками, которая также состоит из нескольких модулей, в том числе канального и товарного риска. И также в рамках модели объединены два подхода объектно- и субъектно-ориентированный.

Дальнейшее исследование требует проведения качественного анализа системы таможенного администрирования, определение ее ключевых элементов, которые могут послужить модулями будущей модели. Кроме того, целесообразно определить прикладные характеристики модели, алгоритмизировать работу механизма управления и провести имитационный эксперимент по внедрению модели.

Как видно из представленных примеров в таблице 1, особое значение при разработке модели имеют этапы дообучения элементов выполнять функцию или решать задачу, поскольку условия применения модели изменяются (уточняются), появляются новые функции (задачи).

Алгоритм обучения модели сопоставим с познанием человека, но унифицирует процесс познания и доводит до процедуры восприятия и запоминания новой информации. Сокращенный вариант процесса применим для дискретных задач, которые решает современный компьютер и представляет множество повторений одного алгоритма. Для решения системных задач или требующих нестандартного подхода к решению такой процесс может искажать информацию и формировать недостоверные знания. Поэтому целесообразно раскрыть полную версию процесса познания на примере ЛПР.

Базовые положения познавательной деятельности и алгоритм формирования знаний в процессе принятия управленческих решений

Большинство ученых, исследующих теории интеллекта и принятия, придерживаются концепции познания, согласно которой руководитель организации использует систему правил, называемых стратегией (программой или планом) познания. Так, ЛПР известна некоторая совокупность стратегий, сведения о которых хранятся в его долговременной памяти. Эти стратегии являются результатом процесса обучения. Вероятно, их совокупность невелика. Каждую стратегию характеризуют два внешних свойства:

- эффективность: стратегии, которые позволяют в максимальной степени реализовать поставленные цели, называются оптимальными стратегиями;
- степень трудности: стратегия тем трудней для выполнения, чем больше применения умственных усилий она требует.

Эффективность и трудность стратегии являются основными понятиями. Они зависят от структур задачи и способности того, кто ее решает. Подбор стратегии зависит от характера задачи, содержащихся рисков, а точнее от субъективного представления.

Согласно теории Л.Сэвиджа рациональное поведение людей во время решения задач с риском основано на применении стратегии максимизации субъективно определяемой полезности. Все исследователи, изучавшие эту стратегию, придерживаются мнения, что она имеет высокую предсказательную ценность.

В свете современных исследований можно сказать, что знания стратегии не означает, что ЛПР может ее использовать – подобно тому, как знание техники плавания не тождественно умению плавать. В процессе принятия рискованных решений человек использует только те стратегии, которым он научился практически оперировать.

В системе управления особое место имеет оценка последствий решений. Она реализуется путем предписывания последствий определённой субъективной ценности или

полезности. Полезность, которую человек предписывает той или иной альтернативе, зависит от состояния субъекта, а точнее от структуры целей ЛПР.

Система убежденности или уверенности человека в том, что ощущение гипотезы о состоянии системы окажутся верными, называется субъективной вероятностью.

Психологи, исследующие человеческое поведение, используют аксиоматическую теорию полезности Дж. Фон Неймана и О.Моргенштерна. Эта теория описывает предпочтения реального действующего лица, принимающего решения.

Аналогично психологов, исследующих процесс оценки субъективной вероятности реальными людьми, привлекает теория вероятности, которая является аксиоматической теорией случайных явлений. У. Ли подчеркивает, что теория описывает как рационально действующее лицо, принимая решение, должно оперировать вероятностями случайных событий.

Согласно формальной теории полезности Дж. Фон Неймана и О.Моргенштерна субъективная вероятность и полезность – это две переменные, между которыми нет никакого взаимодействия. Вероятность гипотезы Ли не зависит от того, является она желательной (ведет к удаче) или нежелательной (определяет неудачу).

В то же время как показывают объективные наблюдения, вероятности, которые люди предписывают результатам, зависят от их полезности. Переоценка вероятности успеха является нежелательным явлением.

Во многих случаях эта позиция приводит к выбору альтернатив, не являющихся наилучшими с точки зрения целей, которые ставит перед собой решающий задачу. Такого рода поведение нельзя называть вполне рациональным.

Исследования Р.Кетлинского показали, что испытуемые гораздо выше оценивают вероятность выигрыша, чем соответствующую вероятность проигрыша. В среднем вероятность выигрыша получает оценку, которая больше оценки вероятности выигрыша на 0,05-0,1.

Выбор рискованной альтернативы (a) из множества (A) альтернатив соответствует принятию решения в строгом смысле слова.

Две конкурирующие точки зрения на процесс выбора: познавательная и поведенческая. В первом случае лицо принимающее решение производящее выбор альтернативы согласно некоторой системе правил. Во втором – выбор зависит от ранее возникших ассоциаций между стимулами (S) и реакциями (R).

Принципиальное различие между правилами и ассоциацией ($S \rightarrow R$) состоит в следующем: если мы знаем, что некоторая система связывает между собой класс (A) стимулирующих ситуаций и класс (X) реакций на эти ситуации, то это позволяет нам предвидеть его поведение. Только тогда, когда мы знаем, что будет иметь место стимулирующая ситуация класса (A). В то же время установление правил позволяет нам предвидеть поведение в любой стимулирующей ситуации, в которой может находиться данная система. «Человек, владеющий соответствующей стратегией, обладает подготовленной реакцией в любой возможной конфигурации событий, с которыми он может встретиться. Зная его стратегию, мы не можем сказать, как он поступит, если не знаем в каких обстоятельствах он находится, но зато можем предсказать, какое действие с его стороны вызовет наступление того или иного события» [Berlyne, 1969].

Однако различие между поведенческой и познавательной точками зрения еще более глубоко. Согласно первой – ЛПР – это активно действующий субъект, который самостоятельно организует представление задачи и в зависимости от поставленных целей подбирает систему правил.

Во втором же случае роль субъекта ограничена и несоизмеримо мала по сравнению с ролью среды. Именно среда, определяет какая альтернатива будет выбрана.

Таким образом, познание как способность ЛПР аккумулировать информацию недостаточна, требуется обработка этой информации и выбор решения с учетом проявления его последствий в будущем. Соотнести процесс обучения и дообучения возможно с помощью компетентностной модели убавления кадровым потенциалом организации.

Компетентностный подход рассматривает возможность сочетания познавательного и поведенческого аспектов компетенции в согласовании знаний, умений и навыков применять знания. Процесс согласования такой триады реализуется посредством механизма когнитивного управления и развития способности опережающего обучения. Результатом такого управления является формирование когнитивных компетенций.

Теоретические положения методологии интеллектуализации организации. Модель эволюции системной интеллектуализации таможенной деятельности

В разрезе теории менеджмента когнитивное управление нашло отражение в работах ряда зарубежных исследователей, которые придерживаются идеи формирования междисциплинарной когнитивной теории. Например, политолог Герберт Саймон и специалист по информационным технологиям Аллен Ньюэлл представили в 1956 году первую работающую модель искусственного интеллекта «Логик-теоретик», которая умела доказывать теоремы из области формальной логики. В 1979 году психолог Даниэль Канеман совместил когнитивную и экономическую теорию и разработал вместе с Амосом Тверски концепцию перспектив.

Представленные примеры научных исследований имеют ряд критических замечаний, в том числе описание решаемой задачи не позволяет адекватно отразить состояние реальной системы. Поэтому результаты исследований применимы в условиях конкретных ограничений. Один из принципов когнитивного управления – всесторонность и целостность восприятия действительности, в таких исследованиях не соблюдается в полном объеме.

В российской науке методология когнитивного управления формируется с 1980-го года. По соответствующей тематике Институтом проблем информатики, Институтом радиотехники и электроники, Институтом проблем управления РАН проводятся международные и всероссийские конференции. В период 1984-1988 года наблюдается активная исследовательская работа в области искусственного интеллекта. Отметим следующих ученых: Букатова И.Л., Венда В.Ф., Крюков В.И., Макрусов В.В., Поспелов Г.С. и т.д.

С 1986-го года Макрусов В.В. проводит исследование целостно-эволюционной автоматизации информационных и информационно-обучающихся систем, которые позволили сформулировать концептуальные положения теории когнитивной динамики, разработать модель проектирования интеллектуальных информационных вычислительных систем и установить их адаптивные свойства [Макрусов, 1997]. Примечательно, что в уже 1994-1995 гг. в рамках этого же исследования представлена теоретическая модель целостно-эволюционной интеграции задач проектирования интеллектуальной системы с учетом характеристик информационно-технологической среды деятельности таможенных органов.

В 1994 году физики-теоретики Букатова И.Л. и Макрусов В.В. представили концепцию интеллектуальной глобальной информационно-вычислительной системы, способной автоматизировано перерабатывать информацию для широкого круга пользователей [Букатова, Макрусов, 1994, 1995, 1996]. Одним из базовых элементов данной концепции является концепция человека как элемент ГИВС.

В рамках данного исследования концепция управления интеллектуальным потенциалом таможенной системы представлена на примере трех условий интеллектуализации таможенной деятельности: функционирования информационно-технического обеспечения (ИТО); развитие информационных технологий (ИТ) с элементами искусственного интеллекта (ИИ) и внедрение в деятельности электронных таможен (ЭТ) (цифровых таможен – ЦТ); создание искусственного интеллекта. Каждое условие задаёт определенный этап интеллектуализации: информатизация, цифровизация и искусственный интеллект.

Этап информатизации впервые обозначен в стратегии развития таможенной службы Российской Федерации до 2020 года. В основах развития обозначены такие траектории, как расширение практики электронного декларирования, внедрение безбумажной технологии, развитие электронного межведомственного взаимодействия и т.д. В целом статистические данные (рис. 1-4) по основным показателям реализации стратегии свидетельствуют о

становлении и функционировании электронной таможни. Отметим, что с 2010 года таможенная служба России принимает электронные декларации.

Этап цифровизации обусловлен реализацией национальной программы «Цифровая экономика». Процесс трансформации электронной таможни в цифровую представлен в стратегии развития таможенной службы Российской Федерации до 2030 года, в отдельных положениях которых представлен искусственный интеллект как условие перехода.

Этап создания искусственного интеллекта следует рассматривать как фактор эволюции системы и условие непрерывного развития таможенной деятельности. Данный этап представлен в концепции интеллектуального пункта пропуска [ФТС России (а, б)], которая на сегодняшний день реализована в объеме автоматического распознавания снимков инспекционно-досмотровых комплексов (ИДК), достоверность получаемых данных в среднем достигает 80,5%, по отдельным товарам – 95%.

На рисунке 5 представлены этапы интеллектуализации и принимаемые системные решения.

Объем решаемых задач рассмотрен в рамках таможенной деятельности (ТД) и сферы внешнеэкономической деятельности (СВЭД), которая во многом устанавливает ограничения и обеспечивает информационным ресурсом процесс развития искусственного интеллекта. Ограничения – это потребности участников ВЭД в задаче интеллектуализации, которые на практике выражены в содействии деятельности бизнес-сообщества или в установлении дополнительных формальностей, что препятствуют развитию торговой деятельности. Информационный ресурс – это ключевой элемент интеллектуальной системы, достоверность, полнота и актуальность которого напрямую связаны с качеством приобретаемого знания, а значит формируемого интеллекта.

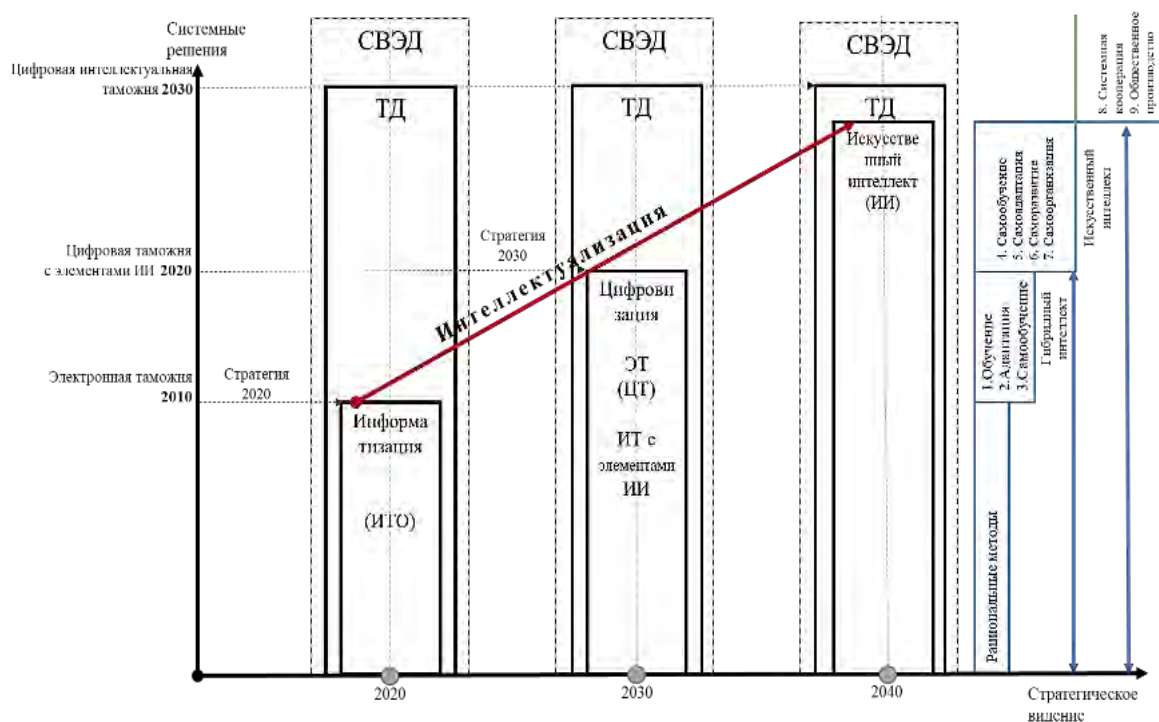


Рис.5. Модель эволюции системной интеллектуализации таможенной деятельности

Fig. 5. Model of evolution of system intellectualization of customs activities

Источник: Составлено авторами

Source: Compiled by the authors

На рисунке 6 также отражены интеллектуальные функции, к ним относятся: рациональные методы, обучение, адаптация, самообучение, самоадаптация, саморазвитие,

самоорганизация, системная кооперация и общественное производство. Отметим, что разный уровень интеллектуализации (собственно интеллектуальный, гибридный и искусственный) обеспечивает выполнение определенных функций. Так на первой уровне – собственно интеллектуальном – будет задействован компетентностный потенциал специалистов таможенного дела по применению рациональных методов управления и решения профессиональных задач. Второй уровень – гибридного интеллекта – требует задействование компетентностного и технологического потенциала, примером служит выполнение задач специалистом с применением информационных систем и технологий. На третьем уровне – искусственного интеллекта – функции подобраны с учетом возможностей автоматического решения задач исключительно с применением технологического потенциала. Четвертый уровень интеллектуализации представлен функциями системной кооперации и общественного производства, которые также следует рассматривать как интеллектуальное партнерство, поскольку таможенная система не только способна решить задачи самостоятельно на основе информационных систем и технологий, но и обеспечивает свое непрерывное развитие в условиях активного взаимодействия с внешними участниками – бизнес-сообществом.

На рисунке 6 обозначена связь функций, возможности их интеграции и перехода между уровнями интеллектуализации. В данном случае метосистемой является таможенная система, которая представляется совокупностью знаний по решению профессиональных задач. Обеспечение функционирования системы (s) начинается идентификацией информации, поступающей в систему, и оценкой степени ее определённости (Y) для решения поставленной задачи, далее поочередно задействуя функции интеллектуализации система развивается в разрезе компетентностного потенциала (K) и технологического потенциала (T) до уровня гибридного интеллекта, далее система способна самостоятельно функционировать и развиваться.

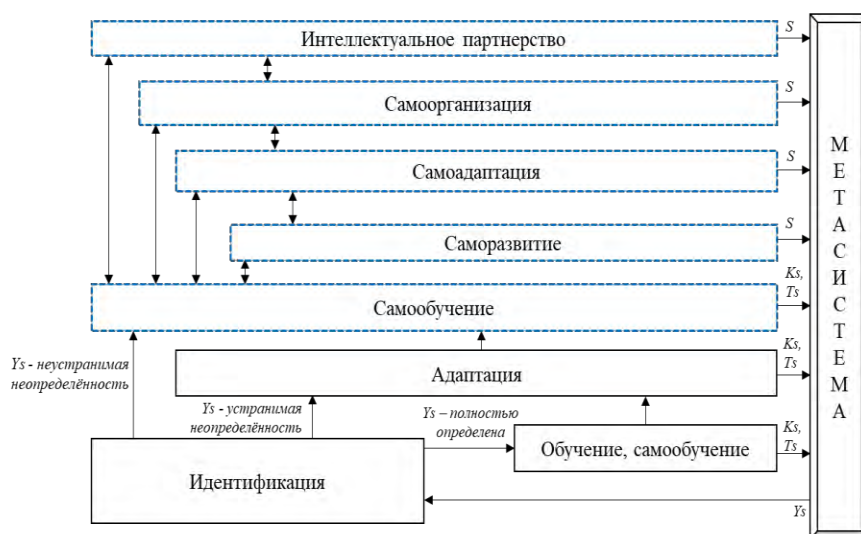


Рис.6. Структура интеграции интеллектуальных функций
Fig. 6. Intelligent Feature Integration Framework

Источник: Составлено авторами
Source: Compiled by the authors

Интеллектуальные технологии и сквозные процессы активно вписываются в деятельность таможенных органов, а именно в процессы аналитических и мониторинговых мероприятий, совершения таможенных операций, в том числе с применением ИДК. Интеллектуализация деятельности сопровождается приобретением таможенной системой новых свойств.

Научные исследования в направлении развитии интеллектуального потенциала проводятся, однако ограничено только во объеме автоматизации технологий и формирования технологического потенциала. Так в исследовании [Жуков, 2020] отмечено, что система таможенных органов России совместно с таможенными службами ЕАЭС способны реализовать алгоритм оформления товаров в автоматическом режиме.

В рамках данного алгоритма мы можем отметить фрагменты, на которых возможно реализовать технологии искусственного и гибридного интеллекта (рис.7).

Из модели следует, что на этапах таможенного контроля, которые реализуются без задействования должностного лица, в перспективе развивается технология искусственного интеллекта, на этапах с задействованием когнитивных компетенций должностных лиц – технология гибридного интеллекта.

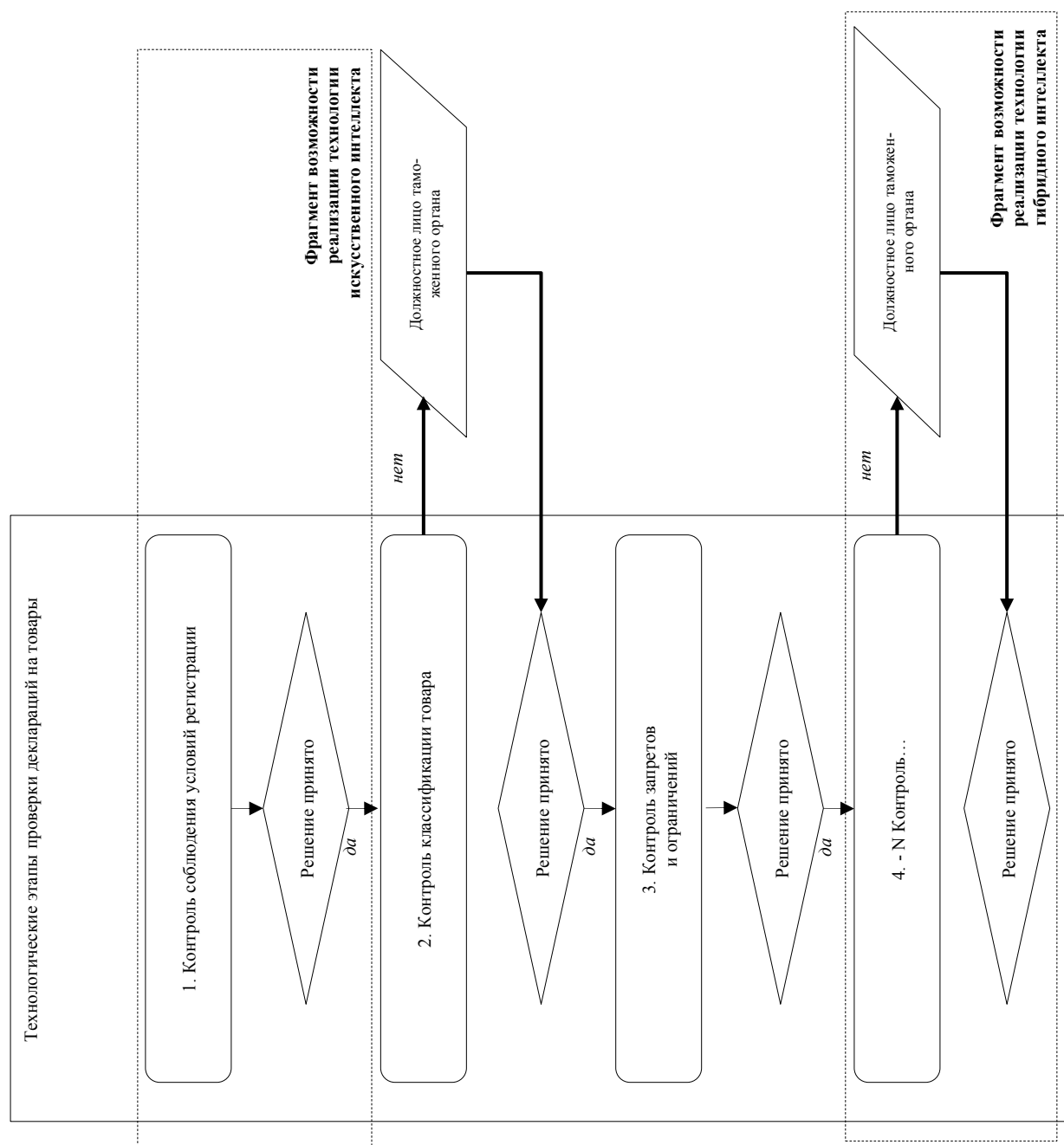


Рис.7. Направления развития модели оформления товаров в автоматическом режиме в условиях интеллектуализации
Fig. 7. Directions for the development of the model of design of goods in automatic mode in conditions of intellectualization

Источник: Составлено на основе данных [Жуков, 2020]
Source: Compiled by the authors based on [Zhukov, 2020]

Перспективы развития интеллектуального потенциала системы таможенного администрирования на современном этапе

Интеллектуальные технологии и сквозные процессы активно вписываются в деятельность таможенных органов, а именно в процессы аналитических и мониторинговых

мероприятий, совершения таможенных операций, в том числе с применением ИДК. Интеллектуализация деятельности сопровождается приобретением таможенной системой новых свойств.

Современная таможенная система – это сложноструктурированная мультифункциональная система, обеспечивающая автоматизацию отдельных функций государственного регулирования сферы внешнеэкономической деятельности (далее ВЭД) на основе решения информационно-расчетных задач, заблаговременно формируемых и разрабатываемых в интересах государства и бизнеса.

Задачи таможенной системы являются конечным программно-информационным продуктом, например, программным обеспечением «Электронное декларирование», частично отражающим предысторию познавательного процесса пользователей – должностных лиц таможенных органов – о принятых ранее решениях. Принципиальной особенностью функциональных возможностей программных продуктов, применяемых в деятельности таможенных органов, определена тем, что они ограничивают информационное пространство автоматизации в информационном пространстве сферы ВЭД. И, соответственно, позволяет автоматизировать процесс актуализации знаний пользователей без учета эволюции информационного пространства среды ВЭД.

Возможность актуализации знаний [Букатова, Макрусов, 1995] (*psv*) в этом случае ограничена вектором ($V(t)$), отражающим текущее состояние информационного пространства автоматизации, составом решаемых задач, методами их решения, а в конечном итоге – эффективностью функционирования, влияющей на эффективное функционирование среды ВЭД.

Анализ эксплуатируемых в настоящее время программных продуктов (см. таблица 2) и информационных систем показывает, что снять подобные ограничения без системной модернизации или интегрирования всех программных продуктов невозможно.

Таблица 2
Table 2

Информационно-техническое обеспечение системы
таможенного администрирования (фрагмент)
Information and technical support of the customs administration system (fragment)

Название программного продукта	Решаемая задача	Уровень интеллектуализации
КПС «Мониторинг – Анализ»	Контроль за процессом таможенного декларирования в области номенклатуры, стоимости, веса оформляемых товаров, начисления таможенных платежей.	Интегративный: <i>реализует процесс интеграции для различных информационных источников и последующее использование накопленных (агрегированных) данных для формирования разных по форме отчетов и справок.</i>
Информационно-справочная система «Мониторинг таможенной деятельности» (ИСС «Малахит»)	Оценка деятельности участников ВЭД таможенными органами.	Не определен
Комплексное программное средство «Автомобильный пункт пропуска»	Анализа уровня принимаемой таможенной стоимости перемещаемых товаров (объединил в единой программной среде автоматизированные системы по таможенному, транспортному, ветеринарному, санитарно-карантинному и карантинному фитосанитарному контролям в пунктах пропуска, реализуя систему межведомственного взаимодействия).	Не определен

Окончание табл. 2

End table 2

Название программного продукта	Решаемая задача	Уровень интеллектуализации
Автоматизированная система анализа данных и поддержки принятия решений «Аналитика-2000»	Оперативный многомерный анализ агрегированных данных единой автоматизированной информационной системы (ЕАИС).	Автоматизация: Применяется технология «On Line Analytical Processing» ¹ .
Автоматизированная информационная система ведения Центрального реестра субъектов ВЭД (АИС «ЦРСВЭД»)	Сбор, идентификация и хранение сведений об участниках ВЭД; предоставление сведений таможенным органам.	Не определен

Источник: Составлено авторами

Source: Compiled by the authors

В общем случае достижение цели функционирования таможенной системы ограничено тремя основными компонентами: информационным устройством, адекватно характеризующим среду ВЭД; знаниями, обеспечивающими достижение цели функционирования в рамках информационного пространства; интеллектуальными возможностями должностного лица и средств автоматизации его интеллектуальной деятельности [Букатова, Макрусев, 1996]. Наличие таких возможностей призвано обеспечить адекватное функционирование постоянно эволюционирующего информационного пространства (*Ms*) в знания, обеспечивающие достижение целей таможенной системы в условиях такой эволюции. При этом необходимо отметить, что среду ВЭД как макросистему отличает динамический характер сложных функциональных процессов, их взаимозависимость и многозадачность. Основным носителем знаний о среде ВЭД является должностное лицо таможенного органа. Роль программного средства и информационных систем в условиях присущих им ограничений сводится к актуализации таких знаний в рамках информационного пространства автоматизации. Такие знания локализованы и ограничены, а сила постоянной эволюции информационного пространства (*Ms*) динамики процессов ее функционирования и эволюции знаний в макросистеме в определенных условиях, ограничено и пространство актуализируемых с помощью программного обеспечения знаний, может оказаться вне области знаний, адекватных текущим потребностям среды ВЭД, которые в свою очередь также могут изменяться (рис.8).

Подобная локализация знаний (*Ms*) ведет к субъективно зависимому характеру их накопления и использования. Это, в свою очередь, значительно снижает эффективность функционирования и развития (*Ms*).

Современная таможенная система – это система, реализующая традиционную технологию решения задач информационно-расчетного характера. В интересах субъектов сферы ВЭД она обеспечивает периодическую актуализацию ограниченного набора знаний на полностью определенном информационном пространстве автоматизации в реальный момент времени или на фоне процессов, протекающих в среде ВЭД. По отношению к сфере ВЭД таможенная система представляется сложной, поскольку обладает особым свойством – коммуникацию между системами осуществляет субъект – должностное лицо таможенного органа, который составляет интеллектуальную основу функционирования системы и обеспечивает ее эволюцию.

¹ OLAP (On-Line Analytical Processing) – это класс приложений и технологий, предназначенных для оперативной аналитической обработки многомерных данных (сбор, хранение, анализ) для анализа деятельности корпорации и прогнозирования будущего состояния с целью поддержки принятия управленческих решений.

Практически любой системе свойственно решение задачи повышения ее эффективности в процессе достижения целей функционирования. Решение этой задачи достигается на основе обеспечения прогрессивной, устойчивой эволюции знаний, накапливаемых в процессе активного взаимодействия субъектов сферы ВЭД (рис.9).



Рис.8. Структуризация проблемы интеллектуализации

Fig. 8. Structuring the intellectualization problem

Источник: Составлено на основе данных [Макрусев, 1997]

Source: Compiled by the authors based on [Makrusev, 1997]

В этом случае знания отражают субъективные интеллектуальные возможности должностных лиц и интеллектуальные возможности информационных технологий и формируются на основе (в процессе) их взаимодействия. Под интеллектуальными возможностями информационных технологий в данном случае понимают технологические и функциональные возможности системы по формированию знаний на основе автоматизации процессов ее познания. Таким образом, одним из основных направлений совершенствования макросистемы на основе ее автоматизации является снижение доминирующего характера субъективных знаний в процессе развития интеллектуальных возможностей информационных технологий.

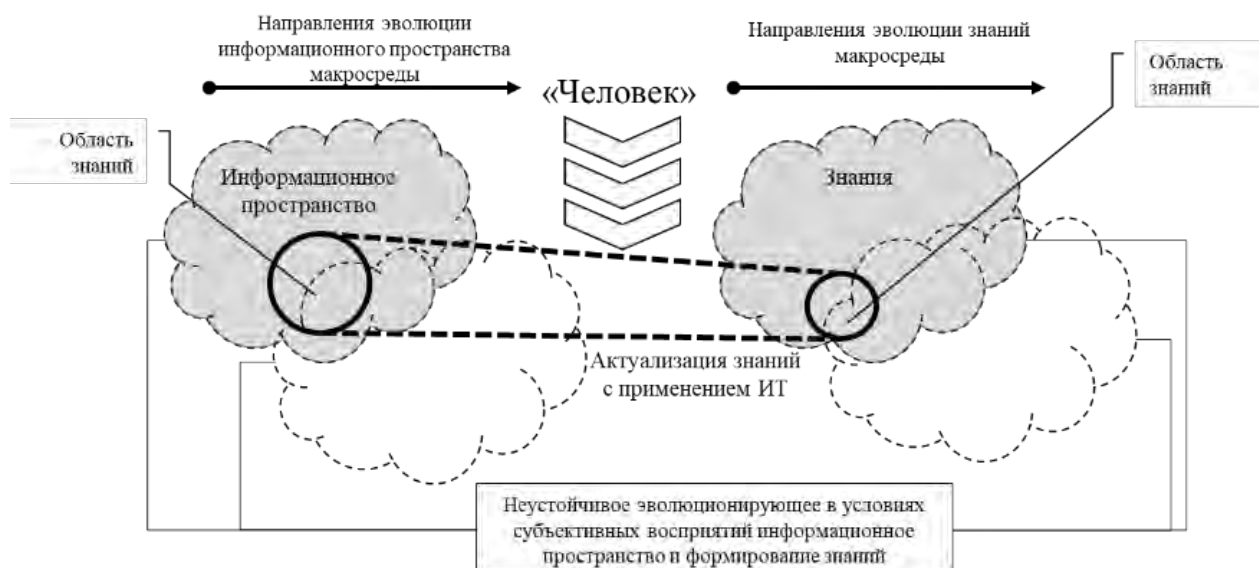


Рис. 9. Роль современных информационных технологий в процессе накопления знаний
Fig. 9. The role of modern information technologies in the process of knowledge accumulation

Источник: Составлено авторами
Source: Compiled by the authors

Разработка технологий, методов и средств автоматизации процесса синтеза локальных и системных знаний информационных технологий определяет формирование системных интеллектуальных возможностей.

Заключение

По результатам проведённого исследования были решены следующие задачи:

- 1) раскрыта экономическая сущность и установлена категория экономической эффективности процесса интеллектуализации;
- 2) представлена мультизадачная модель управления как базисное условие интеллектуализации, сформулирована идея мультимодального подхода к управлению;
- 3) сформулированы базовые положения познавательной деятельности и алгоритм формирования знаний в процессе принятия управленческих решений;
- 4) раскрыты теоретические положения компетентностной и когнитивной метрологий управления интеллектуальным потенциалом, сформулировано определение когнитивных компетенций как структурных элементов ИИ, представлена модель эволюции системной интеллектуализации таможенной деятельности;
- 5) сформулированы перспективные направления интеллектуализации системы таможенного администрирования на современном этапе, представлена декомпозиция проблемы интеллектуализации таможенной системы.

Исследование качественной динамики персонала является перспективным направлением современной теории управления, а учитывая технологическую направленность решаемых задач развития организации, появляется еще одно направление – когнитивистика как наука о непрерывном развитии информационно-технологических систем [Simon, 1995].

Носителем интеллектуального потенциала организации является персонал. В таможенных органах должностные лица являются неотъемлемым элементом системы и обеспечивают ее устойчивое функционирование. Поскольку интеллект – это широкая категория, ее узкий смысл проявляется в специализированных условиях, а конструкция интеллектуального потенциала составляют компетенции. Кроме того, компетенции оцениваемы, а значит управляемы с точки зрения решения задачи развития. Однако, следует определить подход к моделированию компетенции с целью дальнейшего анализа и оценки.

Хотя вычислительное моделирование в настоящее время является широко распространенным методом в когнитивной науке, относительно мало работ в области управления развитием использовали этот метод. Должно казаться очевидным, что механизмы перехода или то, как система переходит от одного уровня интеллектуализации к следующему, должны быть центральным вопросом для исследования в теории когнитивного управления. Тем не менее современные исследования по этому направлению на академическом уровне не представлены.

Список источников

- Блейкли С., Хокинс Д. 2007. Об интеллекте. М.: Вильямс, 240 с.
- Бутл Р. 2022. Искусственный интеллект и экономика. Работа, богатство и благополучие в эпоху мыслящих машин. М.: Интеллектуальная Литература, 432 с.
- Венда В. Ф. 1990. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. М.: Машиностроение, 448 с.
- Воронцов К. В. 1995. Интуиция в математике. М., 16 с.
- Лорьер Ж.-Л. 1991. Системы искусственного интеллекта. М.: Мир, 568 с.
- Макрусов В.В. 2021. Теория когнитивного анализа: Учебное пособие. М.: РИО РТА, 234 с.
- Нильсон Н. 1973. Искусственный интеллект. М.: Мир, 273 с.
- Пиаже Ж. 2003. Психология интеллекта: пер. с англ. и фр. СПб.: Питер, 192 с.
- Президент России. Технологии искусственного интеллекта для обеспечения экономического роста // Стенограмма выступления на международной конференции по искусственному интеллекту и машинному обучению Artificial Intelligence Journey 2022. Режим доступа. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/copy/69927> (дата обращения: 29.12.2022).
- ФТС России (а). Ивин В.В. Каким будет интеллектуальный пункт пропуска на таможне. Режим доступа. URL: <https://customs.gov.ru/press/aktual-no/document/261715> (дата обращения: 11.04.2023).
- ФТС России (б). Терещенко Д.В. О модели интеллектуального пункта пропуска как технологической основы цифровой трансформации. Режим доступа. URL: <https://customs.gov.ru/press/federal/document/341465> (дата обращения: 11.04.2023).
- Berlyne E.D. 1969. Structure and direction in thinking. New York, Wiley.
- Simon J. Tony, Halford S. 1995. Graeme Developing Cognitive Competence: New Approaches To Process Modeling. Psychology Press.

Список литературы

- Бойкова М.В., Макрусов В.В. 2022. Таможенное администрирование: теория, методология, практика: монография. М.: Проспект, 440 с.
- Бондаренко А.О., Макрусов В.В. 2022. Обоснование перехода к плоским организационным структурам управления в условиях цифровой трансформации: методика и математическая модель. Экономика и предпринимательство, 1 (138): 1049-1056.
- Букатова И.Л., Макрусов В.В. 1994. Интеллектуализация глобальных информационно-вычислительных системы: основы, концепция, проблемы. Депонированная рукопись, 7 (595).
- Букатова И.Л., Макрусов В.В. 1996. Интенсивная информатизация социальных систем на основе целостно-когнитивных представлений. Анализ и оптимизация кибернетических систем. Сборник научных трудов. Российская академия наук, Государственный институт физико-технических проблем. Москва: 103-116.
- Букатова И.Л., Макрусов В.В. 1995. Когнитивная динамика: базовые понятия, основные задачи, схемы решения. Депонированная рукопись, 8 (608).
- Букатова И.Л., Макрусов В.В. 1994. Когнитивные процессы эволюционирующих систем// Депонированная рукопись, 10 (598).
- Жуков Д.Б. 2020. Направления развития технологий совершения таможенных операций в центрах электронного декларирования. Вестник Российской таможенной академии. №1. С.20-28.
- Любкина Е.О. 2017. Развитие компетентностного потенциала персонала таможенных органов государств-членов Евразийского экономического союза: дис. на соискание ученой степени кандидат экономических наук : автореферат дис. ... кандидата экономических наук : 08.00.05 / Любкина Екатерина Олеговна; [Место защиты: Рос. таможен. акад.]. Москва, 242 с.

- Макрусов В.В. 2017. Концепция теоретической модели мультипрофильного института таможенного регулирования. Европейский журнал социальных наук, 12-1: 8-15.
- Макрусов В.В. 1994. Проблема интеллектуализации ГИВС. Эволюционная информатика и моделирование. М.: Гос.ИФТП РАН, 24 с.
- Макрусов В.В. 1997. Проблемные направления и задачи автоматизации процессов управления таможенной службой России. Проблемы теории и практики таможенного дела. сборник научных трудов: в 2-х частях. Москва, 282-295.
- Макрусов В.В. 1997. Целостно-эволюционная автоматизация научных, проектных и экспериментальных исследований интеллектуальных информационно-вычислительных систем: дис. ...доктора физико-математических наук: 01.04.01 / Макрусов Виктор Владимирович; [Место защиты: ИРЭ РАН]. Москва, 435 с.
- Макрусов В.В., Богоева Е.М. 2013. Коллективные методы и технологии в управлении таможенным делом: монография. М.: Изд-во РТА, 120 с.
- Макрусов В.В., Ивашкина Ю.С. 2021. Аналитическая деятельность таможенных органов России: состояние, проблемы, перспективы. Экономический анализ: теория и практика, 1 (508): 142-164.
- Макрусов В.В., Любкина Е.О. 2022. Концепция интеллектуализации технологической платформы цифровой экономики. Интеллектуальный пункт пропуска в России и мире: компетентностный подход к созданию. Сборник докладов Всероссийской практической конференции. Санкт-Петербург: 82-85.
- Насибуллин А.А. 2021. Обоснование нового класса таможенных рисков и модели развития СУР. Экономика и предпринимательство, 12: 750-760.
- Поспелов Г.С. 1988. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии. М.: Наука, 280 с.
- Спенсер С., Спенсер Л. 2005. Компетенции на рабочем месте. Модели максимальной эффективной работы. М.: Гиппо: 85-96.
- Bukatova I.L. 1992. Evolutionary computer: Proceedings 1992 RNNS. IEEE Symposium on Neuroinformatics and Neurocomputers, RNNS 1992: 467-477.
- Kryukov V. I 1991. An attention model based on the principle of dominance. Neurocomputers and Attention. I: Neurobiology, Synchronization and Chaos / Eds.: A. V. Holden, V. I. Kryukov. Manchester University Press: 319–351.

References

- Boykova M.V., Makrusev V.V. 2022. Customs administration: theory, methodology, practice: monograph. M.: Prospect, 440 s. (in Russian)
- Bondarenko A.O., Makrusev V.V. 2022. Justification for the transition to flat organizational management structures in the context of digital transformation: methodology and mathematical model. Economics and entrepreneurship, 1 (138): 1049-1056. (in Russian)
- Bukatova I.L., Makrusev V.V. 1994. Intellectualization of global information and computing systems: basics, concept, problem. Deposited manuscript, 7 (595). (in Russian)
- Bukatova I.L., Makrusev V.V. 1996. Intensive informatization of social systems based on holistic and cognitive representations. Analysis and optimization of cybernetic systems. Collection of scientific works. Russian Academy of Sciences, State Institute of Physical and Technical Problems. Moscow: 103-116. (in Russian)
- Bukatova I.L., Makrusev V.V. 1995. Cognitive dynamics: basic concepts, main problems, solution schemes. Deposited manuscript, 8 (608). (in Russian)
- Bukatova I.L., Makrusev V.V. 1994. Cognitive processes of evolving systems. Deposited manuscript, 10 (598).
- Zhukov D.B. 2020. Directions of development of technologies for customs operations in electronic declaration centers. Bulletin of the Russian Customs Academy, 1: 20-28. (in Russian)
- Lyubkina E.O. 2017. Development of the competence potential of the customs authorities of the member states of the Eurasian Economic Union: dis. for the degree of candidate of economic sciences: abstract dis.... Candidate of Economic Sciences: 08.00.05/Lyubkina Ekaterina Olegovna; [Place of defense: Ros. customs. acad.]. - Moscow, 242 s. (in Russian)
- Makrusev V.V. 2017. Concept of the theoretical model of the multi-profile institute of customs regulation. European Journal of Social Sciences, 12-1: 8-15. (in Russian)
- Makrusev V.V. 1994. The problem of intellectualization of GIVS. Evolutionary informatics and modeling. M.: Gos.ИФТП РАН, 24 с. (in Russian)

- Makrusev V.V. 1997. Problematic directions and tasks of automation of the management processes of the customs service of Russia. Problems of the theory and practice of customs affairs. collection of scientific works: in 2 parts. Moscow: 282-295. (in Russian)
- Makrusev V.V. 1997. Holistic and evolutionary automation of scientific, design and experimental studies of intelligent information and computer systems: dis.... Doctors of physical and mathematical sciences: 01.04.01/Makrusev Viktor Vladimirovich; [Place of protection: IRE RAS]. Moscow, 435 s. (in Russian)
- Makrusev V.V., Epiphany E.M. 2013. Collective methods and technologies in customs management: monograph. M.: Publishing House of the Russian Federation, 120 p. (in Russian)
- Makrusev V.V., Ivashkina Yu.S. 2021. Analytical activity of the customs authorities of Russia: state, problems, prospects. Economic analysis: theory and practice, 1 (508): 142-164. (in Russian)
- Makrusev V.V., Lyubkina E.O. 2022. Concept of intellectualization of the technological platform of the digital economy. Intellectual checkpoint in Russia and the world: a competent approach to creation. Collection of reports of the All-Russian Practical Conference. St. Petersburg: 82-85. (in Russian)
- Nasibullin A.A. 2021. Justification of a new class of customs risks and models for the development of RMS. Economics and entrepreneurship, 12: 750-760. (in Russian)
- Pospelov G.S. 1988. Artificial intelligence is the basis of a new information technology. M: Science, 280 s.
- Spencer S, Spencer L. 2005. Competencies in the workplace. Maximum performance models. M.: Hippo: 85-96. (in Russian)
- Bukatova I.L. 1992. Evolutionary computer: Proceedings 1992 RNNS. IEEE Symposium on Neuroinformatics and Neurocomputers, RNNS 1992: 467-477.
- Kryukov V. I. 1991. An attention model based on the principle of dominanta. Neurocomputers and Attention. I: Neurobiology, Synchronization and Chaos / Eds.: A. V. Holden, V. I. Kryukov. Manchester University Press: 319–351.

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

Любкина Екатерина Олеговна, кандидат экономических наук, доцент кафедры управления Российской таможенной академии, г. Люберцы, Россия

Макрусев Виктор Владимирович, доктор-физико-математических наук, профессор, профессор кафедры управления Российской таможенной академии, г. Люберцы, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina O. Lyubkina, Ph.D. in Economics, Associate Professor of the Department of Management of Russian Customs Academy, Lyubertsy, Russia

Viktor V. Makrusev, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Management of Russian Customs Academy, Lyubertsy, Russia

УДК 331.107; 338.23
DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-276-287

Траектории цифровизации HR-службы как социально-экономического ингибитора развития организации

Макарова Е.Н., Гончарова Н.А., Хаитова А.И.

Уральский государственный экономический университет,
Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62

E-mail: makarovayn@mail.ru, nadin1325x@yandex.ru, ya.haitova@yandex.ru

Аннотация. Цель настоящего исследования – выявить и сущностно охарактеризовать доминирующие тенденции применения цифровых технологий как средства, обеспечивающего ускорение в развитии организации не только за счёт цифровой трансформации процессов функционирования бизнес-подразделений, производственных подструктур, но, в частности, за счёт цифровизации служб по управлению персоналом. Для достижения поставленной цели были сформулированы и выполнены следующие задачи. Это, во-первых, мета-анализ теоретических и эмпирических исследований, научно-практических работ, где рассматриваются процессы цифровизации, влияние цифровизации на социально-экономическую эффективность организаций. Во-вторых, анализ преимуществ, издержек, границ эффективности внедрения цифровой трансформации в работу HR-подразделений. В-третьих, построение гипотетических траекторий развёртывания цифровой трансформации служб персонала для компаний различных уровней бизнеса. Результатами работы стали выявленная недооценка выгод как утилитарно экономического, так и социально-гуманитарного характера, образующихся за счёт цифровизации HR-подразделений, часто свойственной руководителям организаций. Показаны варианты путей преодоления подобных барьеров как обобщения практического опыта, представленного в ряде публикаций. Результаты исследования позволяют констатировать, что цифровая трансформация HR-службы компании обеспечивает относительно быстрое наращивание эффективности практически по всем ключевым HR-процессам, что непосредственно влияет на рост результативности организации в целом. Самостоятельным результатом исследования стали целесообразные траектории развёртывания цифровой трансформации HR-службы, зависящие от экономических характеристик компании. Научной новизной исследования является предложенный и теоретически обоснованный уровневый подход к проектированию траекторий цифровизации службы персонала, где уровень глубины цифровой трансформации зависит от масштабов бизнеса компании, от её размеров, от сложности её структуры и степени иерархичности функционирования. Практическую значимость работы составили рекомендации по развёртыванию оптимальных траекторий как последовательности действий, направленных на цифровую трансформацию HR-службы, а также конкретизация социально-экономических выгод, образующихся в организации за счёт цифровизации службы персонала.

Ключевые слова: цифровые технологии, траектории цифровизации, эффекты компьютеризации HR-службы, Digital-HR, геймификация, искусственный интеллект, самообучающиеся IT-системы.

Для цитирования: Макарова Е.Н., Гончарова Н.А., Хаитова А.И. 2023. Траектории цифровизации HR-службы как социально-экономического ингибитора развития организации. Экономика. Информатика, 50(2): 276–287. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-276-287

Trajectories of Digitalization of the HR Service as a Socio-Economic Inhibitor of the Organization's Development

Elena N. Makarova, Nadezhda A. Goncharova, Alexandrina I. Khaitova

Ural State University of Economics

62 8 March St, Yekaterinburg, 620144, Russia

E-mail: makarovayn@mail.ru, nadin1325x@yandex.ru, ya.haitova@yandex.ru

Abstract. The purpose of this study is to identify and essentially characterize the dominant trends in the use of digital technologies as a means of accelerating the development of an organization not only through the digital transformation of the functioning of business units, production substructures, but, in particular, through the digitalization of personnel management services. To achieve this goal, the following tasks were formulated and performed. This is, firstly, a meta-analysis of theoretical and empirical studies, scientific and practical works, which examines the processes of digitalization, the impact of digitalization on the socio-economic efficiency of organizations. Secondly, an analysis of the benefits, costs, and boundaries of the effectiveness of introducing digital transformation into the work of HR departments. Thirdly, the construction of hypothetical trajectories for the deployment of digital transformation of personnel services for companies of various business levels. The results of the work were the revealed underestimation of the benefits of both a utilitarian economic and a socio-humanitarian nature, resulting from the digitalization of HR departments, often characteristic of the heads of organizations. Options for overcoming such barriers are shown as a generalization of practical experience presented in a number of publications. The results of the study allow us to state that the digital transformation of the company's HR service provides a relatively rapid increase in efficiency in almost all key HR processes, which directly affects the growth of the organization's performance as a whole. An independent result of the study was the expedient trajectories for deploying the digital transformation of the HR service, depending on the economic characteristics of the company. The scientific novelty of the study is the proposed and theoretically substantiated level approach to designing trajectories of digitalization of the personnel service, where the level of depth of digital transformation depends on the scale of the company's business, on its size, on the complexity of its structure and the degree of hierarchy of functioning. The practical significance of the work was made up of recommendations on the deployment of optimal trajectories as a sequence of actions aimed at the digital transformation of the HR service, as well as the specification of the socio-economic benefits generated in the organization due to the digitalization of the personnel service.

Keywords: digital technologies, digitalization trajectories, effects of HR service computerization, Digital-HR, gamification, artificial intelligence, self-learning IT systems.

For citation: Makarova E.N., Goncharova N.A., Khaitova A.I. 2023. Trajectories of Digitalization of the HR Service as a Socio-Economic Inhibitor of the Organization's Development. Economics. Information technologies, 50(2): 276–287 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-276-287

Введение

Быстро развивающееся внедрение новых цифровых технологий стимулирует и обеспечивает серьезные изменения в способах работы бизнеса [Goncharova, Kondranenko, 2018]. Как отмечается в отчете 2011 года, подготовленном в партнерстве с SAP, AT&T, PwC, Citi и Cisco, на мировой рынок критически влияют четыре «цифровых мегатенденции»: мобильность, анализ данных, облачные вычисления и социальные сети. Эти тенденции, порождая соответствующие технологии, интенсивно преобразуют многие компании [Goncharova, Merzlyakova, 2020].

Цифровая трансформация затрагивает не только бизнес-процессы, но и управление персоналом [Малкова, Доничев, 2022]. Мобильность и облачные вычисления позволяют сотрудникам работать дистанционно. Многофакторный анализ данных, мгновенно реализуемый с помощью цифрового инструментария, помогает сотрудникам работать более эффективно и

ускорять принятие решений. Социальные сети интенсифицируют продуктивное взаимодействие между коллегами по работе, с контрагентами. Если конкретизировать актуальность данной работы, то целесообразно представить её как триединую проблему, осознанность которой не только руководителями компаний, но также исследователями, занимающимися изучением развития организаций, по многим признакам, не является полной.

Первая часть этой триединой проблемы состоит в том, что позитивное восприятие цифровизации как, безусловно, прогрессивного явления далеко не всегда и не всеми руководителями непосредственно ассоциируется с управляемым ими объектом, забота о стабильной и предсказуемой деятельности которого останавливает иного руководителя от внедрения инновации, трансформирующей всю работу. Ведь подобная трансформация есть угроза стабильности. А трансформационный эффект может не оправдать издержек и затрат.

Вторая составляющая триединой проблемы напрямую касается служб управления персоналом, которые многими руководителями воспринимаются как «центры затрат». А на «центр затрат» распространять преобразования по цифровой трансформации HR-работы нужно, по этой недальновидной логике, в последнюю очередь. Но, снижение эффективности, не прошедших цифровую трансформацию HR-процессов, приводит к снижению качества привлечения и подбора компетентных кандидатов, порождает недостатки в адаптации персонала.

И третья составляющая актуальности проблемы, состоит в том, что цифровая трансформация службы персонала многими руководителями воспринимается только как переход от бумажного документооборота к электронному. Однако если руководитель обнаружит, осознает и примерит на управляемый им объект все упущенные им прямые и опосредствованные возможности, открывающиеся в процессе цифровой трансформации одной только HR-службы, то внедрение инноваций этого класса наверняка будет заметно нарастать.

Объектом исследования стала цифровая трансформация функциональных процессов, обеспечивающих деятельность организации. Предметом исследования – цифровизация HR-процессов, составляющих функционал службы персонала.

Целью настоящего исследования стало выявление доминирующих тенденций применения цифровых технологий как средства, обеспечивающего ускорение в развитии организации в целом не только за счёт цифровой трансформации процессов функционирования бизнес-подразделений, производственных подструктур, но, в частности, за счёт цифровизации служб по управлению персоналом.

Для достижения поставленной цели были сформулированы задачи. Во-первых, следовало провести мета-анализ теоретических и эмпирических исследований, научно-практических работ, где рассматриваются процессы цифровизации, влияние цифровизации на социально-экономическую эффективность организаций. Во-вторых, опираясь на изученные источники, необходимо было проанализировать преимущества, издержки, границы эффективности внедрения цифровой трансформации в работу HR-подразделений. В-третьих, представлялось целесообразным, на основе проведённого мета-анализа, наметить и, по возможности, построить гипотетические траектории развёртывания цифровой трансформации служб персонала для компаний различных уровней бизнеса.

Научной новизной исследования является предложенный и теоретически обоснованный уровневый подход к проектированию траекторий цифровизации службы персонала, где уровень глубины цифровой трансформации зависит от масштабов бизнеса компании, от её размеров, от сложности её структуры и степени иерархичности функционирования. Практическую значимость работы составили рекомендации по развёртыванию последовательности действий, направленных на цифровую трансформацию HR-службы, а также конкретизация социально-экономических выгод, образующихся в организации за счёт цифровизации службы персонала.

Исследования и методы

В процессе исследования собиралась, интегрировалась и систематизировалась информация по избранной теме, проводился анализ современной научной литературы,

выполнялся сравнительно-сопоставительный анализ данных, полученных из тех источников, что представлены в научных изданиях, применялись общенаучные методы обобщения, систематизации, интерпретации собранных исследовательских данных, содержащихся в научных публикациях.

Информационную и отчасти эмпирическую базу исследования составили данные, аналитические отчеты консалтинговых центров, информационно-справочные материалы рейтинговых и кадровых агентств, исследования международных компаний, в том числе материалы международных и всероссийских конференций, иные открытые источники.

Состояние проблемы исследования траекторий цифровизации процессов функционирования организаций

В современной науке управления часто выделяют такие доминирующие направления как процессный, ситуационный и системный подходы. Новые информационные возможности, открывающиеся благодаря цифровым технологиям, создают предпосылки для комплексного взгляда, интегрирующего все три подхода. Создание компьютерных технологий сегодня с их аналитическими возможностями и экономико-математическим моделированием теперь становится основным двигателем преобразований и модернизаций в управленческой науке и практике [Левачив, Хазана, 2020].

Нарастающее доминирование информационных технологий сегодня активно модернизирует процессы управления. Цифровизация отдельных бизнес-процессов с помощью частных алгоритмов сегодня всё больше преобразуется в интегративные архитектуры этих алгоритмов и компьютерных программ, что принимает черты искусственного интеллекта (ИИ) по отношению к объекту управления – персоналу, потребителям, многообразным целевым группам и аудиториям [Левчаев, Хезазна, 2019].

По мнению некоторых исследователей, [Teslya, 2018], актуальным является вопрос о том, насколько автономно действующим, не подконтрольным со стороны человека, насколько не прогнозируемо самообучающимся может стать искусственный интеллект. В данных процессах некоторые исследователи [Помогав, Гергиев, Мардеан, Гассиева, Цораев, 2022] выделяют три этапа:

- 1) высший уровень. Здесь действуют единичные, «штучные» высокопрофессиональные специалисты, разрабатывающие «ИИ»;
- 2) средний уровень – специалисты, задающие характеристики функционирования образующих частей «ИИ»;
- 3) начальный уровень, представленный многочисленными пользователями, потребителями, опирающимися в своей деятельности на возможности искусственного интеллекта.

Показательной практикой применения информационных технологий в области HR-менеджмента является, пусть и единичные пока, но небезыңтересные прецеденты использования искусственного интеллекта для предварительного отбора на вакантную должность кандидатов по итогам анализа их резюме. Здесь отчётливо проступает разница между решениями искусственного интеллекта и работой специалиста по рекрутингу с неизбежно присущей ему, как и любому человеку, системой субъективного мировосприятия.

Цифровая трансформация – это процесс, влияющий на мышление взаимодействующих с этой трансформацией людей. Бизнес-модели, построенные на основе обработки искусственным интеллектом наперёд заданных ему показателей, критериев, условий, факторов и признаков, актуальных для интересующего заказчика результата, всё чаще воспринимаются топ-менеджерами как вполне убедительные и всесторонне обоснованные. Возможности, потенциал цифровизации как предпосылки для системно связанных в единую архитектуру алгоритмов и программ, обеспечивающих основу для принятия управленческих решений, становятся применимы и для инициирования инновационной активности персонала организации [Малкова, Доничев, 2022].

Есть работы [Салин, 2022], где показано, что скорость введения инноваций зависит от нескольких детерминант. Во-первых, это «эквивалентность» – соответствие инновации пожеланиям, ценностям сотрудников. Во-вторых, – «ясность». Иными словами, насколько «прозрачно» может осуществляться нововведение. В-третьих, – встраивание инновации в окружающую социально-экономическую «среду». В-четвёртых, «целостность» – непротиворечиво и полно, практично и целесообразно представленное содержание новации для адаптирующихся к этой новации людей. Когда сущность инновационных преобразований содержательно проявляется в том, что внедряется цифровизация коммуникационных процессов, то, по данным некоторых исследователей [Архипова, 2019], необходимо действовать по четырём направлениям. Во-первых, полезно оценить цифровую развитость компании. Во-вторых, необходимо сформировать целевое стратегическое видение, то есть инициировать в коллективном сознании персонала понимание, куда приведет предлагаемая инновация. В-третьих, развернуть адресное текущее информирование о ходе реализации инновационной стратегии. В-четвертых, для контроля и сопровождения реализации инновационной стратегии, полезно привлечь стороннего организационного консультанта, либо специалиста в сфере управленческого аудита. Здесь три из четырёх направлений реально воплотить в жизнь, прежде всего, за счёт цифровизации.

Заметными среди современных исследований являются идеи использования самых разных версий компьютерной игры в процессах управления инновациями [Кучмезов, 2019]. В приведённом исследовании обосновывается эффективность внедрения метода геймификации – технологии, которая адаптирует игровые приемы к неигровым процессам и мероприятиям для повышения командного духа, результативности, выстраивания продуктивных взаимоотношений в коллективе. По данным, представленным в исследовании, формат игры может успешно применяться для аттестации трудовых и творческих качеств персонала, для оптимизации бизнес-процессов, для инициирования и решения задач ротации персонала, а также в таких направлениях HR-менеджмента, как работа с инновационными кадрами, мотивация, внедрение нововведений.

Показательным примером геймификации как средства управления персоналом и способа внедрения инновации, стал в приведённом выше исследовании пример с отелями «Mauy». Так, служба персонала этого отеля сегодня подбирает сотрудников для работы по виртуальному квесту. Претенденты на должность проходят различным образом смоделированные уровни этого квеста, где требуется дать решения профессиональных задач и проблем, гипотетически возможных в работе и построенных в жанре компьютерной игры. Кроме того, в этой организации на основе цифровых технологий создана система нематериального стимулирования по следующим уровням и критериям:

1. достижения – сюда входят символы достижений, которые присваивает система за выполнение какого-либо сложного задания (особые бейджи, значки или бонусные очки);
2. бонусы – метод начисления статусных наград либо за хорошее выполнение поставленной задачи, либо выполнение любой другой дополнительной работы на благо компании;
3. соревнование – эффективный метод развёртывания оперативных взаимопроникающих обратных связей между отдельными подразделениями компании, когда важна работа в командах;
4. рейтинг – полезный метод перманентной регистрации достижений с последующим информированием каждого сотрудника о его рейтинговой динамике.

В исследовании Ю.Б. Поповой (2019), построенном на идеях Rowley (1997), посвящённом цифровизации процессов информационного обмена между отдельными компаниями, раскрывается сущность использования в этих целях информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Автор показывает, что ИКТ полезны, в основном для рационализации сотрудничества, а также для управления коммуникационными потоками. Цифровизация позволяет формировать надежные информационные каналы, обеспечивает обмен информацией, связанной с ресурсами, персоналом и бизнес-процессами. Цифровая трансформация

процессов деятельности организации, ставит перед руководителями HR-служб новые и непростые задачи, утверждает Ю.Б. Попова. Прежде всего, опережающими темпами и по-новому приходится развёртывать обучение персонала, создавать возможности для оперативного и дистанционного повышения квалификации сотрудников, организовывать и внедрять новые, построенные на цифровых технологиях формы переподготовки действующих специалистов. И одновременно вести поиск новых профессионалов [Попова, 2019].

Анализ сущности цифрового инструментария и траекторий цифровых трансформаций в HR-менеджменте

Рост требований к профессиональным навыкам, знаниям, к уникальным способностям и мульти-потенциалу сотрудников в современных организациях сделал актуальной и неизбежной цифровую трансформацию HR-процессов [Goncharova, Merzlyakova, 2022].

Н.А. Гончарова и Н.В. Мерзлякова (2020) констатируют, что в современной кадровой работе нарастают объёмы обработки информационных потоков по направлениям кадрового учета, расчета компенсаций и льгот, подбора, адаптации, оценки и развития персонала. Цифровизация позволяет всё это оптимизировать. Здесь и оптимизация функций, и экономия времени, и рационально организованный процесс принятия управленческих кадровых решений [Goncharova, Merzlyakova, 2022].

В таких консалтинговых компаниях, как SAP и Deloitte, отмечают, что необходимость уровня цифровизации процессов управления персоналом напрямую зависит от размера компании [Pranjali, 2022]. Оценка цифровизации основана на следующих принципах ранжирования.

К первому и начальному уровню относятся компании, где в управлении персоналом используется бумажный документооборот.

Второй уровень предполагает частичную цифровизацию HR-процессов.

Третий уровень требует высокого процента цифровизации HR-технологий.

К четвертой категории относятся компании с полным циклом цифровизации HR-системы, где единственным средством коммуникации является электронный документооборот. Чем крупнее компания, тем больше потребность в цифровизации всех процессов. Зависимость уровня цифровой трансформации HR-технологий от размера компании отражена в таблице 1.

Таблица 1

Table 1

Зависимость уровня цифровизации HR-технологий от размера компании
Dependence of the level of digitalization of HR technologies on the size of the company

Уровень цифровизации	Численность персонала (чел.)
Первый: бумажный документооборот в управлении персоналом, неструктурированные процессы.	до 100
Второй: частичная автоматизация HR-процессов, использование разных систем для разных типов данных, отсутствие единой системы обработки данных.	от 100 до 1000
Третий: стандартизация HR-процессов, единая база данных, возможности доступа к данным со всего спектра мобильных устройств.	от 1000 до 10000
Четвертый: внедрение искусственного интеллекта в процессы HR-менеджмента, достижение уровня Digital-HR, где данные анализа, оптимизации и прогноза преобразуются в проекты управленческого решения, где существует единый интерфейс, где при необходимости генерируются дополнительные приложения.	более, чем 10000

Общий анализ особенностей управления персоналом в разных областях экономики, выполненный на основе данных, опубликованных Pranjali (2022), приводит к выводу, что необходимость цифровизации всего HR-цикла весьма актуальна прежде всего для финансовой отрасли, металлургии, горнодобывающей промышленности и информационных технологий (четвертый уровень по SAP и Deloitte). Цифровизация процессов управления персоналом стремительно происходит в таких отраслях, как медицина, медиа, интернет, ритейл (третий уровень по SAP и Deloitte). В обобщённом виде данные о степени цифровой трансформации HR-технологий в зависимости от сферы деятельности компаний, представленные в работе Pranjali (2022), сведены в таблицу 2.

Таблица 2
Table 2

Уровень цифровой трансформации HR-технологий
 в зависимости от сферы деятельности компании
 The level of digital transformation
 of HR technologies depending on the company's field of activity

Уровень цифровизации	Сфера деятельности компании
Первый: бумажный документооборот в управлении персоналом, неструктурированный процесс.	Энергетика, строительство, образование
Второй: частичная цифровизация HR-процессов, использование разных систем для разных типов данных, отсутствие единой системы обработки данных.	Нефть, газ, производство, профессиональные услуги, транспорт, логистика
Третий: стандартизация HR-процессов, единая база данных, возможности доступа к данным со всего спектра мобильных устройств.	Розничная торговля, медицина, СМИ и Интернет
Четвертый: внедрение искусственного интеллекта (Digital-HR) в управление; анализ данных, оптимизация и прогноз; единый интерфейс; дополнительные приложения.	Финансы, банковское дело, металлургия, горнодобывающая промышленность, информационные технологии

Результаты целого ряда исследований: [Лазутина, Лебедева, 2019], [Левчаев, Хезазна, 2019], [Маркова, Марков, 2019] свидетельствуют, что в настоящее время обнаруживается недостаточно полная цифровизация HR-технологий в таких отраслях экономики, как нефтегазовая, энергетика, строительство, сфера образования (второй и первый уровень по SAP и Deloitte). Так, более 50% сотрудников до сих пор распечатывают, подписывают и сдают бумажные документы в отдел кадров. В то же время компании внедряют электронный документооборот. В 35% компаний нет единой базы данных, а ручной анализ HR-процессов с использованием стандартных приложений проводится в 60% из них. При этом понимание топ-менеджерами насущной необходимости перехода HR-технологий на цифровой уровень, осознание ими остроты этой проблемы, безусловно, есть.

Расширение деятельности компании всегда связано с вопросами найма и подбора необходимых специалистов. Подбор и оценка персонала является одним из наиболее важным и трудоемким делом в работе HR-служб [Ганина, 2019].

Цифровизация процесса подбора персонала, конечно, особенно актуальна в крупных торговых или строительных организациях. Рекрутинговые, кадровые агентства также широко используют соответствующие компьютерные программы, позволяющие создать базу данных людей, ищущих работу, и управлять этой базой.

Сегодня, по данным М.А. Федотовой, самыми популярными рекрутинговыми компьютерными программами являются Huntflowe, Cleverstaff, E-Staff Recruiter, Asper – система

SaaS, платформа TalentScan, сервис Experium, FriendWork Recruiter, Skillaz, Hrscanner [Федотова, 2019].

К преимуществам информационных рекрутинговых систем можно отнести не только экономию времени рекрутера. Становятся более продуктивными ведение статистики, обработка ответов ищущих работу кандидатов, анализ результатов онлайн-тестирования, выявление дубликатов резюме, компьютерное конструирование оптимального видео-интервью, формирование информационной базы данных с историями профессиональных траекторий кандидатов, а также построение рейтинга кандидатов. Цифровой инструментарий в рекрутинге уже позволяет сегодня создавать целевые поисковые проекты по разнотипным и сложно сопоставляемым базам данных [Федотова, 2019].

Результатом автоматизации функционала службы HR является минимизация времени закрытия вакансии. В настоящее время работа по набору персонала в современных российских компаниях автоматизирована лишь на 4% [Федотова, 2019]. Чат-бот внедрен и активно используется в 6% российских организаций. Существует большой спрос на систему E-Staff Recruiter для оцифровки процесса найма. В обозримом будущем с горизонтом планирования от одного до трёх лет всего 20% компаний планируют внедрить программные серверы. Анализ отзывов на внутренних порталах по трудоустройству, таких как Potok и FriendWork Recruiter, показал, что отзывы эти, в основном, положительные. Значимо часто отмечаются преимущества SAP HRM, но высокая стоимость программы не позволяет внедрить ее в небольших компаниях.

Этапом, логически следующим за решением задач подбора, является адаптация нового персонала. По данным А.Л. Лазутиной и Т.Е. Лебедевой (2019), до 90% сотрудников, покинувших компании в свой первый рабочий год, уходят оттуда, как не сумевшие найти своё место в общем рабочем контексте, как не преодолевшие проблему своей личностно-профессиональной причастности к деятельности организации. Все эти причины, нередко, вызваны отсутствием целесообразных и эффективных адаптационных программ [Лазутина, Лебедева, 2019]. Автоматизация, цифровая трансформация таких направлений работы, как программы адаптации, позволяет сократить время вхождения нового сотрудника в культурный контекст организации.

Нововведением в адаптации является «onboarding», суть которого в создании для нового сотрудника условий, позволяющих ему ознакомиться с основными ценностями компании до начала своей работы. Так, после того как сотрудник получит предложение занять интересующую его должность, но еще не приступит к выполнению своих обязанностей, имея «минус первый день», он вступит во взаимодействие с информационной системой. Коммуникативный агент этой системы, так называемый чат-бот, сообщит новому сотруднику полезные сведения об организации. Более того, например, в некоторых европейских компаниях чат-бот отправляет новому сотруднику приглашение на обед, сообщая при этом, время обеда, место, где обедают его сослуживцы, а также имена и фамилии тех сотрудников, с которыми новый работник возможно встретится на обеде. При этом работающие сотрудники получают сообщение о том, что в их коллектив пришел новый коллега, которому неплохо было бы уделить на первых порах особое внимание и поддержку.

Цифровизация процессов адаптации позволяет использовать LMS (Learning Management System) для онлайн-обучения [Маркова, Марков, 2019]. Для этого сотрудник по рекомендованным ссылкам проходит обучающие видеокурсы, интерактивные деловые игры, тренинги от ведущих специалистов, видео-инструкцию по информационной безопасности. В личном кабинете сотрудник может отслеживать динамику своего профессионального роста, избирая интересные для себя курсы с целью дальнейшего саморазвития. Одновременно у непосредственного руководителя, а также у службы персонала есть возможность оценить успеваемость нового сотрудника, отследить, какие обучающие программы изучил вновь принятый на работу специалист, внести свои предложения на сей счёт, дать иные рекомендации [Pranjali, 2022].

Обучение персонала, построенное на цифровых компьютерных технологиях, позволяет развёртывать содержательный диалоговый, интерактивный режим обучения. Возможность сотруднику выбрать удобное для себя время и место для обучения является несомненным преимуществом. Иные преимущества также очевидны. Во-первых, архив учебных курсов остаётся в электронном виде для свободного доступа обучающихся к любому типу контента. Во-вторых, возможна перманентная проверка и самопроверка полученных знаний. В-третьих, открывается возможность для участия в тематических форумах, блогах, видеоконференциях. Иными словами, компьютерная система дистанционного обучения полностью погружает сотрудника в учебный процесс.

Пранджали Галгали (Pranjali Galgali) – вице-президент по маркетингу BeautyFix MedSpa (2017), приводит данные таких крупных консалтинговых компаний, как SAP и Deloitte, где выявлены приоритеты и предпочтения разных организаций в выборе средств обучения своего персонала. Оказывается, что лишь 7% сотрудников проходят обучение с применением компьютерных систем. Любопытно, что в этой публикации приведённые данные сопоставляются с информацией не менее авторитетного международного кадрового агентства Haус, которое даёт более оптимистичные сведения. По данным этого агентства, более 30% компаний активно внедряют автоматизацию технологий обучения. Кроме того, положительные отзывы о результатах обучения своего персонала методам и способам цифровизации оставили 74% руководителей.

Также становится более массовой тенденция использовать в обучении взрослых приемы геймификации. Сегодня, как пишет Пранджали Галгали, около 21% компаний используют игровые технологии в развитии персонала.

По данным исследования Haус, приоритетными HR-процессами при цифровой трансформации, по мнению HR-директоров, а также руководителей организаций, на выборке, превышающей 1500 участников, являются кадровый учет, анализ эффективности HR-процессов, системы компенсаций и льгот [Pranjali, 2022].

Результаты анкетных опросов о важности цифровой трансформации HR-процессов, собранные из упомянутых выше источников, и, затем обобщённые, представлены в таблице 3.

Таблица 3
Table 3

Приоритетные HR-процессы, требующие цифровизации
 Priority HR processes that require digitalization

HR-процессы	Важность автоматизации HR-процессов, % опрошенных
Кадровый учет	72%
Оценка рабочего времени	66%
Анализ эффективности HR-систем	61%
Компенсации и льготы	49%
Набор персонала	41%
Оценка	42%
Адаптация	40%
Обучение	41%

По данным того же автора, 95% HR-руководителей и генеральных директоров отчетливо осознают актуальность перехода управления персоналом на цифровой уровень, на уровень Digital-HR, [Pranjali, 2022].

Подводя итог сделанному аналитическому обзору, можно констатировать, что большинство крупных компаний сегодня уже внедряют автоматизированные компьютерные программы, выходят на уровень Digital-HR.

К этому же стремятся и компании, относящиеся к условно среднему бизнесу, руководство которых, в большинстве своём, отчётливо понимает нарастающие информационно-аналитические и развивающие персонал преимущества цифровой трансформации HR-процессов.

Способствовать тому, чтобы топ-менеджмент компании проявил готовность к осмыслению и всесторонней оценке позитивных перспектив цифровизации службы персонала может руководитель HR-подразделения. Руководитель службы персонала с этой целью должен раскрыть сущность выгод, образующихся в организации за счёт роста качества и скорости подбора персонала, продуктивности процедур оценки кандидатов и рациональности мероприятий по адаптации, ре-адаптации, удержанию как вновь поступивших, так и действующих сотрудников. Здесь же необходимо развёртывать аргументы, отражающие существенные и прорывные показатели роста эффективности процессов обучения, переподготовки, повышения квалификации сотрудников, планирования их горизонтальных и вертикальных карьер, формирование позитивного восприятия компании, как во внешней социально-экономической среде, так и в восприятии работающих в компании сотрудников.

Заключение

Мета-анализ эмпирических и аналитических работ наиболее авторитетных исследователей, а также данных консалтинговых агентств, статистических отчётов различной направленности показал следующее. Недооценка значимости и выгод как утилитарно экономического, так и социально-гуманитарного уровня, нередко проявляемая отдельными руководителями, является барьером не всегда осознанным, но существенным на пути цифровизации.

Приоритетными направлениями цифровизации, цифровой трансформации HR-процессов, как показал анализ современных публикаций, являются процедуры кадрового учета, перманентная кадровая аналитика, а также рутинная работа по расчету компенсаций и льгот персоналу.

При реализации программ подбора и адаптации всё чаще и шире применяются чат-боты. Эти компьютерные программы выполняют функции первых формализованных контактов с кандидатами, решают задачи начальной селекции поступающих резюме по заранее заданным признакам, а также помогают сотруднику в короткие сроки освоить информацию о ценностях, о культурных конструктах, действующих в компании.

Перспективным и набирающим популярность направлением в развитии персонала является подход, построенный на игровых методах. Игровые технологии геймификации используют сегодня около 69% компаний для развития сотрудников, 24% для оценки и 59% для программ адаптации.

В целом цифровая трансформация практически всех аспектов работы с персоналом в любой компании оценивается исследователями и воспринимается руководителями организаций как, безусловно, неизбежная и перспективная траектория дальнейшего развития HR-процессов и технологий. Однако высокая стоимость цифровизации пока не позволяет внедрять эти инновации в компаниях с относительно небольшим бюджетом.

Глубина цифровой трансформации и амплитуда её развёртывания прямо связаны с масштабом бизнеса компании. Отсюда сложились основания для построения гипотетических траекторий развёртывания цифровой трансформации служб персонала, зависящих от различных уровней бизнеса компаний.

Так, для компаний, относящихся к малому бизнесу, сегодня наиболее доступен лишь переход с бумажного на электронный документооборот, хотя прецеденты, когда руководитель привлекает необходимые средства для более глубокой цифровизации и в обозримом будущем оказывается в выигрыше, имеют место быть.

Для компаний уровня среднего бизнеса чаще всего свойственно выходить на уровень цифровизации служб персонала, которому соответствуют частичная автоматизация бизнес-процессов, электронный документооборот, стандартизация и программное обеспечение отдельных, наиболее трудоёмких HR-процессов.

Для компаний крупного бизнеса вполне возможен выход на интегративную цифровую трансформацию всей HR-деятельности, достижение уровня Digital-HR как процесса системной оптимизации всей работы с персоналом, опирающегося на социальные, мобильные, аналитические и облачные технологии.

Список источников

- Малкова Т. Б. Доничев О.А. Управление персоналом в цифровой экономике. URL: <https://www.book.EN/book/934247> (дата обращения: 03.03.2023).
- Позмогов А. И., Гергиев И. Е., Мардеан Н., Гассиева З. П., Цораев З. О. Цифровая трансформация российского бизнеса. URL: <https://www.book.EN/book/933886> (дата обращения: 03.03.2023).
- Салин А. Геймификация: как справиться с рутинной. URL: postnauka.ru/longreads/83429 (дата обращения: 03.03.2023)
- Pranjali Galgali. Digital Transformation and its Impact on Organizations' Human Resource Management. URL: https://www.academia.edu/35595152/Digital_Transformation_and_its_Impact_on_Organizations_Human_Resource_Management (дата обращения: 03.03.2023).

Список литературы

- Архипова, Н. И. 2019. Современные проблемы управления персоналом: монография. Москва: Проспект, 160 с.
- Ганина С. А. 2019. Инструменты управления человеческим и интеллектуальным капиталом компании в условиях цифровой экономики. Вестник Российского нового университета. Серия: Человек и общество, 3: 20 -25.
- Кучмезов, Х. Х. 2019. Технологии искусственного интеллекта в контексте BPM. Современная математика и концепции инновационного математического образования. М.: Издательский дом МФО: 214-222.
- Лазутина А. Л., Лебедева Т. Е. 2019. Новые требования к качеству управления персоналом в условиях цифровой экономики и управления. Актуальные вопросы современной экономики, 5: 177-180.
- Левчаев П. А., Хезазна Б. 2020. Трансформация менеджмента в условиях процессов цифровизации и искусственного интеллекта. Финансы и управление, 2: 12-20.
- Левчаев П. А., Хезазна Б. 2019. Особенности управления в условиях цифровизации. Научные исследования и разработки. Экономика фирмы, 3: 38-44.
- Маркова В. Д., Марков А. А. 2019. Цифровизация, или управление на основе потока данных. Инновации, 7: 83-87.
- Попова, Ю. Б. 2019. Искусственная нейронная сеть в обучающей системе CATS. Цифровая трансформация, 2 (7): 53-59.
- Федотова М. А. 2019. Технологии искусственного интеллекта при прогнозировании эффективности командной работы: опыт, проблемы и перспективы практических исследований. Научный результат. Сер. Социология и управление, 2 (5): 93-106.
- Goncharova N. A., Merzlyakova N. V. 2022. Food shortages and hunger as a global problem. Food, Science and Technology, 42, e70621.
- Goncharova N. A., Merzlyakova N. V. 2020. Investigation of import substitution and expansion impact in Russian foreign economic practice by supply chain strategy. International Journal of Supply Chain Management, 9(2): 772-778.
- Goncharova N. A., Kondratenko I. S., Zamaraeva E. N. 2018. Economic mechanism of industrial Enterprise resources management efficiency assessment. The Journal of Social Sciences Research, 4(12): 470-477.
- Teslya N.A. 2020. Features of personnel management in the process of digital transformation of the Company. Интеллектуальные ресурсы - региональному развитию, 1: 732-735.

References

- Arkhipova, N. I. 2019. Modern problems of personnel management: monograph. Moscow: Prospekt, 160 p.
- Ganina S. A. 2019. Management tools for the company's human and intellectual capital in the digital economy. Bulletin of the Russian New University. Series: Man and Society, 3: 20-25. (in Russian)
- Kuchmezov, Kh. Kh. 2019. Artificial intelligence technologies in the context of BPM. Modern mathematics and concepts of innovative mathematical education. M.: MFO Publishing House: 214-222. (in Russian)
- Lazutina A. L., Lebedeva T. E. 2019. New requirements for the quality of personnel management in the digital economy and management. Actual issues of modern economics, 5: 177-180. (in Russian)
- Levchaev P. A., Khezazna B. 2020. Transformation of management in the context of digitalization and artificial intelligence processes. Finance and Management, 2: 12-20. (in Russian)
- Levchaev P. A., Khezazna B. 2019. Features of management in the conditions of digitalization. Scientific research and development, Economics of the company, 3: 38-44. (in Russian)
- Markova V. D., Markov A. A. 2019. Digitalization, or control based on data flow. Innovations, 7: 83-87.
- Popova, Yu. B. 2019. Artificial neural network in the CATS training system, Digital transformation, 2(7): 53-59. (in Russian)
- Fedotova M. A. 2019. Artificial intelligence technologies in predicting the effectiveness of team work: experience, problems and prospects for practical research. Scientific result. Ser. Sociology and Management, 2(5): 93-106. (in Russian)
- Goncharova N. A., Merzlyakova N. V. 2022. Food shortages and hunger as a global problem. Food, Science and Technology, 42, e70621.
- Goncharova N. A., Merzlyakova N. V. 2020. Investigation of import substitution and expansion impact in Russian foreign economic practice by supply chain strategy. International Journal of Supply Chain Management, 9(2): 772-778.
- Goncharova N. A., Kondratenko I. S., Zamaraeva E. N. 2018. Economic mechanism of industrial Enterprise resources management efficiency assessment. The Journal of Social Sciences Research, 4(12): 470-477.
- Teslya N.A. Features of personnel management in the process of digital transformation of the Company. Intellectual resources for regional development, 1: 732-735.

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

Макарова Елена Николаевна, доктор филологических наук, доцент, заведующий кафедрой делового иностранного языка Уральского государственного экономического университета, г. Екатеринбург, Россия

Гончарова Надежда Анатольевна, кандидат исторических наук, доцент, доцент кафедры иностранных языков Уральского государственного экономического университета, г. Екатеринбург, Россия

Хаитова Александрина Иосифовна, ассистент кафедры финансов, денежного обращения и кредита Уральского государственного экономического университета, г. Екатеринбург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena N. Makarova, Doctor of Philology, Associate Professor, Head of the Business Foreign Language Department, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

Nadezhda A. Goncharova, Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Foreign Languages Department, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

Alexandrina I. Khaitova, Assistant of the Department of Finance, Money Circulation and Credit, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

УДК 338.431.7

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-288-299

Факторы влияния на наращивание экономического потенциала предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК

Кодолова Т.А.

Вятский государственный университет,
Россия, 610000, Кировская область, г. Киров, ул. Московская, д. 36
E-mail: toropova-1992@mail.ru

Аннотация. Одной из основных проблем для предприятий молочно-продуктового подкомплекса АПК на современном этапе в условиях непрерывно изменяющейся внешней среды является поиск направлений повышения и факторов влияния на экономический потенциал предприятия. В статье представлены различные классификации факторов экономического потенциала предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК. По результатам исследования выделены особенности молочно-продуктового подкомплекса, влияющие на функционирование предприятия, а также на наращивание экономического потенциала предприятия. Осуществлен анализ ключевых факторов экономического потенциала предприятия. Обоснована и предложена декомпозиция внешних факторов, влияющих на наращивание экономического потенциала, с целью определения степени взаимодействия внутренней деятельности предприятий с его внешней деятельностью как на рынке ресурсов, так и на рынке готовой продукции. Предложены показатели для количественной оценки влияния факторов на наращивание экономического потенциала предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК. С учетом этого проведена оценка факторов, оказывающих влияние на наращивание экономического потенциала ЗАО «Кировский молочный комбинат», позволяющая определять мероприятия по наращиванию и эффективному использованию экономического потенциала.

Ключевые слова: экономический потенциал, молочно-продуктовый подкомплекс, предприятие, факторы.

Для цитирования: Кодолова Т.А. 2023. Факторы влияния на наращивание экономического потенциала предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК. Экономика и информатика, 50(2): 288–299. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-288-299

Impact Factors on the Growth of Economic Potential of the Enterprise of Dairy-Product Subcomplex of Agroindustrial Complex

Tatyana A. Kodolova

Vyatka State University
36 Moskovskaya St, Kirov, Kirov region, 610000, Russia
E-mail: toropova-1992@mail.ru

Abstract. One of the main issues for the enterprises of dairy-products subcomplex of agroindustrial complex at the modern period in conditions of continuously changing external environment is finding ways both for increasing the economic potential of the enterprise and influencing factors on the economic potential of the enterprise. The article presents various classifications of factors of economic potential of the enterprise of dairy-products subcomplex of agroindustrial complex. According to the results of the study the features of the dairy product subcomplex, influencing on the functioning of the enterprise, as well as on

increasing economic potential of the enterprise are identified. The analysis of the key factors of economical potential of the enterprise has been carried out. The decomposition of external factors affecting enhancement of economic potential, in order to determine the level of interrelation of internal performance of enterprises with its external performance, both in the market of resources and in the market of finished products, was substantiated and proposed. Indicators for quantitative evaluation of the influence of factors on the build-up of economic potential of the enterprise of the dairy subcomplex of the agroindustrial complex are proposed. Considering this, the evaluation of factors influencing the build-up of economic potential of CJSC "Kirov Dairy Factory" has been carried out, which allows to determine the means for enhancement and effective use of economic potential.

Keywords: economic potential, dairy subcomplex, enterprise, factors

For citation: Kodolova T.A. 2023. Impact Factors on the Growth of Economic Potential of the Enterprise of Dairy-Product Subcomplex of Agroindustrial Complex. Economics. Information technologies, 50(2): 288–299 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-288-299

Введение

На современном этапе санкции, ограничение доступа к технологиям, снижение инвестиционной деятельности, изменение потребительского спроса, усложнение конкурентной борьбы приводят к необходимости проведения анализа и оценки экономического потенциала предприятий молочно-продуктового подкомплекса АПК, а также к необходимости изучения процесса адаптации предприятия к сложившимся условиям с целью поддержания и развития продовольственных систем РФ. Актуализация факторов экономического потенциала предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК позволит определить влияние внешней и внутренней среды на результаты деятельности предприятия, а также целенаправленно воздействовать на наращивание экономического потенциала. Исследование влияния факторов на наращивание экономического потенциала позволит предприятию разработать мероприятия, направленные на устойчивое функционирование предприятия, при котором достигается максимально возможный результат.

В этимологическом значении термин «фактор» происходит от латинского слова «factor» и в переводе означает причина, движущая сила какого-либо процесса, явления, определяющая его характер или отдельные его черты.

Анализ рассмотренных определений содержания понятия «экономический потенциал предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК» выявил различные взгляды на понимание его сущности (табл. 1). В одних определениях присутствуют черты только ресурсного или результативного подходов, в других используется их сочетание. Обобщение содержания исследуемых определений, на наш взгляд, позволяет рассматривать экономический потенциал предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК во взаимодействии элементов экономического потенциала предприятия с внешней средой как в процессе формирования (ресурсный подход), так и в процессе реализации экономического потенциала (результативный подход).

На наш взгляд, экономический потенциал предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК представляет собой динамическую систему, состоящую из взаимозависимых ресурсного и рыночно-сбытового потенциалов, тесная технологическая и экономическая взаимосвязь между которыми позволяет интегрировать и эффективно использовать ресурсы, производственные и рыночные возможности предприятия, а также надежно обеспечивать потребности населения в молоке и молочных продуктах.

В рамках нашего исследования под факторами будем понимать движущие силы или причины, которые воздействуют на наращивание экономического потенциала предприятий молочно-продуктового подкомплекса АПК.

Таблица 1
Table 1

Определения, раскрывающие понятие «экономический потенциал предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК»
Definitions that reveal the concept of «the economic potential of the enterprise of the dairy and food subcomplex of the agroindustrial complex»

Автор	Содержание понятия «экономический потенциал предприятия молочно-продуктового АПК»	Особенности подходов
В.Ф. Гранкин Н.М. Цемба [Гранкин, Цемба 2017]	Это совокупность ресурсов, обеспечивающих устойчивое развитие предприятий локального молочного промышленного комплекса	Авторами рассматривается только ресурсная составляющая экономического потенциала.
О.А. Прокуднина [Жигунова, 2010]	Это максимальная способность предприятия производить такой объем качественной и конкурентоспособной продукции, пользующейся постоянным спросом населения, реализация которой обеспечивает непрерывный прирост финансовых ресурсов на основе внедрения процессов обновления производства, труда и управления, достаточных для освоения новых видов деятельности/	В определении обозначена важность прироста финансовых ресурсов. Однако в данном определении не учтено взаимодействие с внешней средой.
Е.В. Волкова [Волкова, 2016]	Это совокупностью максимальных возможностей предприятия, обусловленных имеющимися в распоряжении ресурсами для эффективного производства товаров (продукции, работ, услуг) с целью удовлетворения потребностей рынка с учетом факторов внутренней и внешней среды.	Ориентация понятия на возможности предприятия эффективно использовать ресурсы при максимальном удовлетворении потребителей в товарах и услугах.
Д.А. Шайдаева [Шайдаева, 2013]	Это возможности внутренней и внешней среды по производству и реализации молочной продукции, характеризующиеся наличием, составом, качеством системно сбалансированных на технологической, инновационной, инвестиционной, информационной и организационной основе ресурсов агропромышленного производства, позволяющие максимально эффективно реализовывать определённые внутренние цели и удовлетворять требования внешней социально-экономической среды.	Отождествление экономического потенциала с возможностями внешней и внутренней среды. Автор определяет потенциал как систему ресурсов, не принимая во внимание систему взаимодействия возможностей предприятия.

Целью нашего исследования будет определение факторов, влияющих на наращивание экономического потенциала предприятий молочно-продуктового подкомплекса АПК.

Объекты и методы исследования

Предметом исследования явились факторы наращивания экономического потенциала предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК. Объектом – предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК, в том числе отдельные молокоперерабатывающие предприятия Кировской области.

В качестве методов исследования использовались общенаучные методы теоретического и эмпирического познания (системность, индукция и дедукция, анализ и синтез) и прикладные экономико-статистические методы (абстрактно-логический, статистических группировок, расчетно-конструктивный).

Теоретической основой исследования явились объективные экономические законы, современные экономические теории, труды ведущих отечественных и зарубежных специалистов, посвященные проблемам исследования экономического потенциала.

Информационную основу исследования составили нормативно-правовые акты Российской Федерации и органов исполнительной власти, регулирующих развитие рынка молока и молочной продукции, официальные статистические источники, опубликованные в открытой печати и размещенные в электронных ресурсах, аналитические материалы, публичная отчетность предприятий молочного подкомплекса АПК Кировской области.

Результаты и их обсуждение

Для формирования целостной картины экономического потенциала предприятия молочно-продуктовым подкомплексом АПК необходимо иметь четкое представление о факторах, влияющих на экономический потенциал. В отдельных работах экономистов представлены различные классификации факторов экономического потенциала.

В своей работе К.Е. Андреев подразделяет факторы, воздействующие на формирование экономического потенциала предприятия на внутренние и внешние. С точки зрения автора, к внешним факторам относятся общеэкономические, организационно-экономические и факторы, связанные с техническим прогрессом. Внутренние факторы включают в себя экономические, технические и организационные [Андреев, 2008].

Д.А. Шайдаева, рассматривая факторы экономического потенциала предприятия, подразделяет их факторы, носящие количественный, экстенсивный характер и качественные, интенсивные факторы. По мнению автора, к ним относятся: среднегодовая стоимость основных фондов, среднегодовая стоимость оборотных фондов, среднегодовая численность работников. В качестве интенсивных факторов предлагается рассмотреть оборачиваемость материально-производственных запасов в днях, производительность труда, фондоотдачу [Шайдаева, 2013].

С.В. Овсянников также указывает, что факторы экономического потенциала подразделяются на внутренние и внешние. Однако для оценки влияния внешней среды на экономический потенциал автором предложено рассмотрение двух факторов внешней среды: макроокружения и микроокружения. К группе макроокружения относятся экономические, политико-правовые, технологические, природно-экологические, социально-демографические факторы. Влияние факторов микроокружения на экономический потенциал рассматривается через потребителей готовой продукции, поставщиков сырья и конкурентов [Овсянников, 2006].

О.А. Жигунова в качестве системообразующих факторов, влияющих на формирование экономического потенциала предприятия, рассматривает факторы неопределенности и рисков, обусловленные взаимодействием внешней и внутренней среды, систему наличных ресурсов и обладание совокупными способностями, а также наличие реальных возможностей [Жигунова, 2010].

Ряд авторов [Селин, 2006, Бендилов, 2017, Демьяненко, 2019] подразделяют факторы экономического потенциала предприятия по широте воздействия на общие, действующие во всех отраслях экономики, и специфические, применяемые в отдельных отраслях.

В таблице 2 представлены ключевые особенности, накладываемые молочно-продуктовым подкомплексом АПК на наращивание экономического потенциала предприятия [Байбакова, Суворова 2016, Еремеев, Корнева, Парфиненко 2016, Парамонов, Егоров 2016, Сычева, Кононова, Вольный, Копылов, Нечаева, 2018, Кодолова, Суворова, 2021].

Таблица 2
Table 2

Особенности молочно-продуктового подкомплекса АПК
Features of the dairy and food subcomplex of the agro-industrial complex

Особенности молочно-продуктового подкомплекса АПК	Авторский подход на наращивание экономического потенциала с учетом специфики функционирования предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК
Тесная технологическая и экономическая взаимосвязь между звеньями молочно-продуктового подкомплекса	Производство молочной продукции осуществляется с тесной взаимосвязью с рынком производства сырого молока и требует сбалансированности развития. В связи с этим, в сохранении стабильности производственного процесса возрастает необходимость непрерывного качественного обеспечения сырьевыми ресурсами, поэтому представляется необходимым рассматривать экономический потенциал предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК в зависимости от внешнего воздействия на рынке ресурсов.
Сезонность	Рынок молочной продукции является динамичным и нестабильным. Неустойчивость рынка связана с сезонными колебаниями поставки сырого молока в течение года. Спрос на молочную продукцию более стабилен. Поэтому малый рост спроса на молочную продукцию часто вступает в противоречие с ростом производства сырого молока, а также производительности труда, что вызывает излишки производства. Поэтому при анализе факторов, влияющих на наращивание экономического потенциала предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК, представляется необходимым учесть эффективность использования ресурсов.
Непрерывность спроса населения	
Высокая конкуренция среди производителей рынка молока	Условия функционирования рынка молока характеризуются высокой конкуренцией, что часто приводит к ухудшению финансово-экономического положения и требует государственной поддержки сельхозпроизводителей. Таким образом, при анализе факторов экономического потенциала необходимо исследовать влияние государственной политики.
Стабильность спроса в отличие от предложения	Молочный подкомплекс носит довольно консервативный, инерционный характер, что несколько сдерживает своевременное и адекватное реагирование объемов производства на конъюнктуру рынка. Следовательно, изучение продовольственного рынка позволит предприятию благоприятно воздействовать на наращивание экономического потенциала предприятия.

Систематизируя различные подходы к изучению факторов экономического потенциала, необходимо отметить, что ряд авторов рассматривают деление факторов на две группы: факторы внутренней и факторы внешней среды [Бура, 2016, Столярова, Шептухина, 2017, Гиесов, 2020, Ибрагимова, Головкин, 2022]. Такой подход больше соответствует нашим представлениям о факторах наращивания экономического потенциала предприятий. Также необходимо учитывать специфические особенности предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК.

На рисунке 1 представлены факторы, влияющие на экономический потенциал предприятий молочно-продуктового подкомплекса АПК.



Рис. 1. Факторы, влияющие на наращивание экономического потенциала предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК

Fig. 1. Factors influencing the growth of the economic potential of the enterprise of the dairy and food subcomplex of the agro-industrial complex

Факторы – это движущие силы, которые способствуют наращиванию экономического потенциала предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК [Абрачаускас, 2020]. В ходе изучения особенностей молочно-продуктового подкомплекса АПК предложено рассмотреть внешние факторы как с точки зрения воздействия их на рынок ресурсов, так и на рынок готовой продукции, и разделить все факторы влияния на наращивание экономического потенциала на три группы.

Первая группа – это внутренние факторы экономического потенциала, которые представляют собой совокупность материальных, трудовых и производственных ресурсов.

Вторая группа – это внешние факторы, воздействующие на рынок ресурсов, а именно природно-климатические факторы, политико-экономические факторы, а также инвестиционная, финансовая, налоговая политика страны.

Третья группа – это внешние факторы, воздействующие на рынок готовой продукции, а именно социально-демографические факторы, конкурентная среда.

Оценка внешних факторов с двух позиций позволит выявить отрицательные воздействия и определить вектор наращивания экономического потенциала предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК [Надворная, Климчук, Оборин, Гварлиани, 2016, Маслов, 2021].

Для количественной оценки факторов, влияющих на наращивание экономического потенциала предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК, нами предлагается рассчитывать две группы показателей: показатели для оценки внутренних факторов и показатели для оценки внешних факторов экономического потенциала предприятия. Первая группа показателей представлена в таблице 3.

Таблица 3
Table 3

Показатели для оценки внутренних факторов экономического потенциала предприятия
Indicators for assessing internal factors of an enterprise's economic potential

Ресурсы	Обозначения	Прямые показатели отдачи	Прямые показатели эффективности
Материальные	Мо – материалоотдача; Рмз – рентабельность использования средств производства; В – выручка; Пд – прибыль от осуществления деятельности; МЗ – материальные затраты	$Mo = B / MZ$	$Rmz = Pd / MZ$
Трудовые	Пт – производительность труда; Рпт – рентабельность расходов на персонал; В – выручка; Пд – прибыль от осуществления деятельности; РП – расходы на персонал с учетом отчислений во внебюджетные фонды	$Pt = B / RP$	$Rpt = Pd / RP$
Производственные	Фо – амортизационная фондоотдача; Рос – рентабельность основных средств; В – выручка; Пд – прибыль от осуществления деятельности; А – амортизационные отчисления	$Fo = B / A$	$Ros = Pd / A$

Показатели для оценки внутренних факторов экономического потенциала предприятия – это прямые показатели, которые представлены в разрезе показателей отдачи и показателей эффективности. Прямые показатели отдачи позволяют оценить величину ресурсного потенциала предприятия. Для этого оценивается выручка, полученная в расчете на один рубль, вложенный в тот или иной ресурс. Прямые показатели эффективности позволяют оценить величину рыночно-сбытового потенциала предприятия. Для этого оценивается прибыль, полученная от осуществления деятельности, в расчете на один рубль, вложенный в тот или иной ресурс.

Важным аспектом в данном подходе является то, что все показатели должны быть сопоставимыми, так как выручка и прибыль – это показатели, которые получены за год, то и все остальные показатели должны быть представлены за год. Кроме того, для получения объективной оценки, исходные данные должны находиться в стоимостном выражении.

Например, при оценке производительности труда учитывается не среднесписочная численность персонала, а величина расходов на персонал с учетом отчислений во внебюджетные фонды. Оценка производственных ресурсов осуществляется с помощью фондоотдачи и рентабельности основных средств, которые рассчитываются исходя из величины амортизации, а не из среднегодовой стоимости основных средств. Это объясняется тем, что среднегодовая стоимость основных средств рассчитывается на основании остаточной стоимости основных

средств, то есть той стоимости, которая будет потребляться в будущих периодах, а амортизация представляет собой величину основных средств, потребляемых в течение отчетного периода.

Показатели второй группы представлены в таблице 4.

Таблица 4

Table 4

Показатели для оценки внешних факторов экономического потенциала предприятия
Indicators for assessing external factors of an enterprise's economic potential

Ресурсы	Косвенные показатели отдачи	Косвенные показатели эффективности
Материальные	$\Delta M_o = \Delta B / \Delta M_3$	$\Delta R_{M_3} = \Delta P_d / \Delta M_3$
Трудовые	$\Delta P_t = \Delta B / \Delta P_P$	$\Delta R_{P_t} = \Delta P_d / \Delta P_P$
Производственные	$\Delta F_o = \Delta B / \Delta A$	$\Delta R_{oc} = \Delta P_d / \Delta A$

Показатели для оценки внешних факторов экономического потенциала предприятия – это косвенные показатели, которые тесно связаны с показателями первой группы и представляют собой коэффициенты приращения того или иного ресурса, используемого в деятельности предприятия. Косвенные показатели отдачи позволяют оценить уровень приращения величины ресурсного потенциала предприятия как результат реакции потребителя на продукцию предприятия. Косвенные показатели эффективности позволяют оценить уровень приращения рыночно-сбытового потенциала предприятия. Чем значение показателей больше единицы, тем сильнее положительная реакция потребителя, что позволяет эффективнее наращивать экономический потенциал.

Одним из наиболее крупных предприятий Кировской области, занимающееся производством молока (кроме сырого) и молочной продукции, а также производством вторичного сырья для сельского хозяйства, является ЗАО «Кировский молочный комбинат». Оценка факторов, влияющих на наращивание экономического потенциала ЗАО «Кировский молочный комбинат» в 2017-2021 гг., представлена в таблице 5.

Таблица 5

Table 5

Оценка влияния факторов экономического потенциала
ЗАО «Кировский молочный комбинат»
Assessment of the impact of factors of the economic potential
of CJSC Kirov Dairy Plant

Ресурсы	Показатели	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Материальные	Mo	1,34	1,44	1,42	1,36	1,42
	R _{M3}	0,10	0,19	0,17	0,12	0,16
	ΔMo	–	1,08	0,98	0,78	1,04
	ΔR _{M3}	–	1,85	0,91	0,58	1,27
Трудовые	P _t	10,58	10,42	10,53	10,24	10,07
	R _{Pt}	0,80	1,35	1,26	0,91	1,10
	ΔP _t	–	0,99	1,01	0,97	0,98
	ΔR _{Pt}	–	1,69	0,93	0,73	1,21
Производственные	Fo	32,18	33,37	31,62	26,87	26,02
	Roc	2,44	4,33	3,78	2,40	2,85
	ΔFo	–	1,04	0,95	0,85	0,97
	ΔRoc	–	1,77	0,87	0,63	1,19

Данные таблицы 4 позволяют сделать следующий вывод.

В 2017-2021 гг. динамика показателей внутренних факторов имеет разнонаправленный характер, а именно при увеличении материалоотдачи наблюдается снижение производительности труда и фондоотдачи. Другими словами, имущественный и финансовый потенциал ЗАО «Кировский молочный комбинат» использует не эффективно.

Показатели внешних факторов 2019-2020 гг. менее единицы, следовательно, деятельность предприятия в этом периоде направлена на стабилизацию системы, а не на наращивание экономического потенциала.

В 2021 году показатели внешних факторов улучшаются, следовательно, можно сделать вывод, что функционирование предприятия направлено на наращивание экономического потенциала ЗАО «Кировский молочный комбинат».

Таким образом, мероприятия по эффективному использованию экономического потенциала в ЗАО «Кировский молочный комбинат» должны быть направлены на повышение эффективности использования трудовых ресурсов и фондовых ресурсов.

Заключение

Отраслевая особенность является одним из определяющих факторов, воздействующих не только на деятельность предприятия, но и на формирование его экономического потенциала. Анализ особенностей молочно-продуктового подкомплекса АПК позволил выделить ключевые факторы, непосредственно влияющие на наращивание экономического потенциала предприятия. В результате по отношению к экономическому потенциалу предприятия молочно-продуктового подкомплекса АПК все факторы, влияющие на наращивание экономического потенциала, можно разделить на три группы: внутренние факторы (совокупность материальных, трудовых и производственных ресурсов); внешние факторы, воздействующие на рынок ресурсов (природно-климатические факторы, политико-экономические факторы, а также инвестиционная, финансовая, налоговая политика страны); внешние факторы, воздействующие на рынок готовой продукции (социально-демографические факторы, конкурентная среда).

Для оценки представленных факторов предложено рассчитывать прямые и косвенные показатели отдачи и эффективности. Прямые показатели отдачи и эффективности позволяют оценить величину ресурсного и рыночно-сбытового потенциала предприятия. Особенностью представленных прямых показателей выступает то, что данные для расчета показателей должны находиться в сопоставимом виде, а именно в стоимостном выражении и быть представленными за отчетный период, чаще всего за год. Поэтому, при оценке производительности труда учитывается величина расходов на персонал с учетом отчислений во внебюджетные фонды, а при расчете фондоотдачи и рентабельности основных средств используется величина амортизации.

Косвенные показатели тесно связаны с прямыми показателями и позволяют оценить уровень приращения величины ресурсного и рыночно-сбытового потенциала с позиции реакции потребителя на продукцию предприятия. Чем полученные косвенные показатели более единицы, тем сильнее положительная реакция потребителя, следовательно, тем эффективнее происходит наращивание экономического потенциала.

Таким образом, была достигнута цель исследования – определение факторов, влияющих на наращивание экономического потенциала предприятий молочно-продуктового подкомплекса АПК и предложенный метод оценки влияния факторов на экономический потенциал предприятия апробирован на данных ЗАО «Кировский молочный комбинат».

Список литературы

Андреев, К. С. 2008. Экономический потенциал промышленного предприятия и его использование: автореферат дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 Москва, 22 с.

- Арбачаускас В.О. 2020. Факторы развития национальных экономических систем на основе эволюционной динамики экономических систем. Краснодар: Сборник аннотаций докладов IV Международной научной конференции памяти академика А.И. Татаркина. Под редакцией В.И. Бархатова, Д.А. Плетнева, О.В. Брижак, Г.П. Журавлевой: 40–41.
- Байбакова Т.В., Суворова Л.А. 2016. Оценка развития молочного подкомплекса АПК РФ. Актуальные вопросы современной науки и образования. Материалы международной научно-практической конференции. Московский финансово-юридический университет МФЮА, Кировский филиал: 718–721.
- Бендиков М.А. 2017. Экономический потенциал предприятия: определяющие факторы и меры усиления. Стратегическое планирование и развитие предприятий. Материалы Восемнадцатого всероссийского симпозиума. Под редакцией Г.Б. Клейнера: 905–908.
- Бура Е.М. 2016. Экономический потенциал предприятия как основа обеспечения его экономической безопасности. Международный научный студенческий журнал, 3: 72–75.
- Волкова Е. В. 2016. Развитие экономического потенциала организаций перерабатывающей промышленности: теоретико-методологические аспекты: моногр. Могилев: МГУП, 199 с.
- Гиёсов У. Б. 2020. Понятие производственного потенциала и основные виды ресурсов, применяемых в производстве. Бюллетень науки и практики, 6(3): 279–288.
- Гранкин В.Ф., Цемба Н.М. 2017. Методика и апробация оценки экономического потенциала предприятий, входящих в состав молочного продуктового комплекса. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии, 8: 55–59.
- Демьяненко А.Е. 2019. Факторы повышения научно-технического потенциала предприятия в составе его экономического потенциала. Инновационное развитие экономики. Будущее России. материалы и доклады VI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции: 59–64.
- Еремеев В.И., Корнева Н.А., Парфиненко Т.В. 2016. Риски молочного подкомплекса АПК в России. Актуальные проблемы развития агропромышленного комплекса региона в современных условиях. сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции с международным участием. ФГБНУ «Калужский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»: 311–316.
- Жигунова, О.А. 2010. Теория и методология прогнозирования экономического потенциала предприятия. Финансы, 139 с.
- Ибрагимова Р.С., Головкин Д.С. 2022. Экономический потенциал как концепция стратегического управления промышленным предприятием. Вестник Пермского университета, 17(4): 474–486.
- Кодолова Т. А., Суворова Л. А. 2021. Молочный подкомплекс Кировской области: анализ состояния и факторы, сдерживания его развития. Экономика и предпринимательство, 10(135): 625–628.
- Кодолова Т.А., Суворова Л.А. 2022. Экономический потенциал молокоперерабатывающего предприятия: сущность и факторы его развития. Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса. Юбилейный сборник научных трудов XV Международной научно-практической конференции. Редколлегия: И.М. Донник [и др.]. Ростов-на-Дону: 98–102.
- Маслов Н.С. 2021. Метод оценки производственного потенциала как стадии экономического потенциала для раскрытия перспективы предприятий. Московский экономический журнал, 6: 488 – 495.
- Надворная Г.Г., Климчук С.В., Оборин М.С., Гварлиани Т.Е. 2016. Теория и методология оценки экономического потенциала предприятий. Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз, 6: 70–90.
- Овсянников С.В. 2006. Развитие экономического потенциала предприятий молочной промышленности на основе формирования эффективных стратегий: автореф. дис. ... кан. экон. наук: 08.00.05. Воронеж, 26 с.
- Парамонов П.Ф., Егоров Е.А., Артемова Е.И. [и др.]; 2016. Агропродовольственный рынок региона: теория и практика: монография. Краснодар: КубГАУ, 429 с.
- Селин А. А. 2006. Формирование и развитие экономического потенциала предприятий молочного подкомплекса (на примере Челябинской области. Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий, 12(135): 28–32.
- Столярова М.А., Шептухина В.А. 2017. Экономический потенциал: сущность, структура, методы оценки. Инновационная экономика, перспективы развития и совершенствования, 2 (20): 162–165.
- Суворова Л.А., Кодолова Т.А. 2017. Экономическая оценка конкурентоспособности молочной продукции: методические и практические аспекты: монография. Киров: ВятГУ, 159 с.
- Сычёва О.В., Кононова Л.В., Вольный Д.Н., Копылов И.А., Нечаева Л.Г. 2018. Перспективы развития молочного подкомплекса АПК в Ставропольском крае. Переработка молока, 9(27): 52–55.
- Шайдаева Д. А. 2013. Повышение эффективности использования экономического потенциала предприятий АПК на основе внедрения системы стратегического управления: дис. ... канд. эк. наук: 08.00.05. Махачкала, 184 с.

References

- Andreev K.S. 2008. Ekonomicheskii potentsial promyshlennogo predpriyatiya i ego ispol'zovanie [Economic potential of an industrial enterprise and its application]: aftoreferat dissertatsii kandidata ekonomicheskikh nauk: 08.00.05 Moscow, 22 c.
- Abrachauskas V.O. 2020. Factory razvitiya natsional'nykh ekonomicheskikh system na osnove evolyutsionnoy dinamiki ekonomicheskikh system [Factors in the development of national economic systems based on the evolutionary dynamics of economic systems]. Sbornik annotatsiy dokladov IV Mezhdunarodnoy konferentsii pamyati akademika A.I.Tatarkina. Pod redaktsiey V.I. Barkhatova, D.A. Pletnyova, O.V. Brizhak, G.P. Zhuravlyovoy. Krasnodar: 40-41.
- Baibakova T.V., Suvorova L.A. 2016. Otsenka razvitiya molochnogo podkompleksa APK RF [Evaluation of the development of the dairy subcomplex of the agroindustrial complex of the Russian Federation]. Aktual'nye voprosy sovremennoy nauki i obrazovaniya. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moskovskiy finansovo-yuridicheskii universitet MFYUA, Kirovskiy filial: 718-721.
- Bendikov M.A. 2017. Ekonomicheskii potentsial predpriyatiya: opredelyayushchie factory i mery usileniya [Economic potential of the enterprise: the determining factors and measures to strengthen]. Strategicheskoe planirovanie i razvitie predpriyatiy. Materialy Vosemnadtsatogo vserossiyskogo simpoziuma. Pod redaktsiey G.B. Kleinera: 905-908.
- Bura E.M. 2016. Ekonomicheskii potentsial predpriyatiya kak osnova obespecheniya ego ekonomicheskoy bezopasnosti [Economic potential of the enterprise as the basis for its economic security]. Mezhdunarodnyi nauchnyi studencheskiy zhurnal, 3: 72-75.
- Volkova 2016. Razvitie ekonomicheskogo potentsiala organizatsii pererabativayshei promishlennosti teoretiko-metodologicheskie aspekti: monogr. [Development of the economic potential of organizations of the processing industry: theoretical and methodological aspects: monogr]. Mogilev, MGUP, 199.
- Giyosov U.B. 2020. Ponyatie proizvodstvennogo potentsiala i osnovnye vidy resursov, primenyaemykh v proizvodstve [The concept of manufacturing capacity and the main types of resources used in production]. Byulleten' nauki i praktiki, 6(3): 279-288.
- Grankin V.F., Tsemba N.M. 2017. Metodika i aprobatsiya ocenki ekonomicheskogo potentsiala predpriyatij, vkhodyashchih v sostav molochnogo produktovogo kompleksa [Methodology and approbation of the assessment of the economic potential of enterprises that are part of the dairy product complex]. Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skhozayajstvennoj akademii, 8: 55–59.
- Dem'yanenko A.E. 2019. Faktory povysheniya nauchno-tehnicheskogo potentsiala predpriyatiya v sostave ego ekonomicheskogo potentsiala [Factors for increasing the scientific and technical potential of an enterprise as an element of its economic potential]. Innovatsionnoe razvitie ekonomiki. Budushchee Rossii. Materialy i doklady VI Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii: 59-64.
- Eremeev V.I., Korneva N.A., Parfinenko T.V. 2016. Riski molochnogo podkompleksa APK v Rossii [Risks of the dairy subcomplex of the agroindustrial complex in Russia]. Aktual'nye problemy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa regiona v sovremennykh usloviyakh. Sbornik nauchnykh trudov po materialam nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. FGBNU "Kaluzhskiy nauchno-issledovatel'skiy institut sel'skogo khozyaistva: 311-316.
- Zhigunova O.A. 2010. Teoriya i metodologiya prognozirovaniya ekonomicheskogo potentsiala predpriyatiya [Theory and methodology of forecasting the economic potential of the enterprise]. Finansy i kredit, 139 s..
- Ibragimova R.S., Golovkin D.S. 2022. Ekonomicheskii potentsial kak kotseptsiya strategicheskogo upravleniya promyshlennym predpriyatiem [Economic potential as a concept of strategic management of an industrial enterprise]. Vestnik Permskogo universiteta, 17(4): 474-486.
- Kodolova T.A., Suvorova L.A. 2021. Molochnyi podkompleks Kirovskoy oblasti: analiz sostoyaniya i factory sderzhivaniya ego razvitiya [Dairy subcomplex of Kirov region: analysis of the state and factors constraining its development]. Ekonomika i predprinimatel'stvo, 10(135): 625-628.
- Kodolova T.A., Suvorova L.A. 2022. Ekonomicheskii potentsial molokopererabatyvayushchego predpriyatiya: sushchnost' i factory ego razvitiya [Economic potential of a dairy enterprise: the essence and factors of its development]. Sostoyanie i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa. Yubileyniy sbornik nauchnykh trudov XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Rostov-on-Don: 98-102.
- Maslov N.S. 2021. Metod otsenki proizvodstvennogo potentsiala kak stadii ekonomicheskogo potentsiala dlya raskrytiya perspektivy predpriyatiya [The method of assessing productive potential as a stage of economic potential to reveal the perspectives of enterprises]. Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal, 6: 488-495.

- Nadvornaya G.G., Klimchuk S.V., Oborin M.S., Gvarliani T.E. 2016. Teoriya i metodologiya otsenki ekonomicheskogo potentsiala predpriyatiy [Theory and methodology for assessing the economic potential of enterprises]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*, 6: 70-90.
- Ovsiyannikov S.V. 2006. Razvitie ekonomicheskogo potentsiala predpriyatiy molochnoy promyshlennosti na osnove formirovaniya effektivnykh strategiy: avtoreferat dissertatsii kandidata ekonomicheskikh nauk: 08.00.05. Voronezh: 26.
- Paramonov P.F., Egorov E.A., Artyomova E.I. [i drugie]. 2016. Agropredovol'stvennyi rynek regiona: teoriya i praktika: monografiya [Agri-food market of the region: theory and practice: a monograph]. Krasnodar: KubGAU, 429.
- Selin A.A. 2006. Formirovaniye i razvitie ekonomicheskogo potentsiala predpriyatiy molochnogo podkompleksa (na primere Chelyabinskoy oblasti) [Formation and development of economic potential of dairy subcomplex enterprises (case study of the Chelyabinsk region)]. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*, 12(135): 28-32.
- Stolyarova M.A., Sheptukhina V.A. Ekonomicheskiy potentsial: sushchnost', struktura, metody otsenki [Economic potential: essence, structure, evaluation methods]. *Innovatsionnaya ekonomika, perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya*, 2(20): 162-165.
- Suvorova L.A., Kodolova T.A. 2017. Ekonomicheskaya otsenka konkurentosposobnosti molochnoy produktsii: metodicheskie i prakticheskie aspekty: monografiya [Economic evaluation of the competitiveness of dairy products: methodological and practical aspects: monograph]. Kirov: VyatGU, 159.
- Sychyova O.V., Kononova L.V., Vol'nyi D.N., Kopylov I.A., Nechaeva L.G. 2018. Perspektivy razvitiya molochnogo podkompleksa APK v Stavropol'skom krae [Perspectives for the development of the dairy subcomplex of the agroindustrial complex in the Stavropol region]. *Pererabotka moloka*, 9 (27): 52-55.
- Shaideeva D.A. 2013. Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya ekonomicheskogo potentsiala predpriyatiy APK na osnove vnedreniya sistemy strategicheskogo upravleniya: dissertatsiya kandidata ekonomicheskikh nauk: 08.00.05. Makhachkala, 184 s.

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

Кодолова Татьяна Александровна, преподаватель кафедры экономики Вятского государственного университета, г. Киров, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Tatyana A. Kodolova, Lecturer of the Department of Economics, Vyatka State University, Kirov, Russia

УДК 338.48

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-300-312

Индустрия туризма в условиях «новой нормальности»: вызовы и перспективы

¹ Пьянкова С.Г., ^{2,3} Митрофанова И.В., ⁴ Ергунова О.Т.

¹ Уральский государственный экономический университет,
Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45

² Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН
Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, просп. Чехова, 41

³ Волгоградский государственный университет,
Россия, 40062, г. Волгоград, просп. Университетский, 100

⁴ Санкт-Петербургский филиал Национального
исследовательского университета «Высшая школа экономики»,
Россия, 190008, г. Санкт-Петербург, ул. Союза Печатников, 16
E-mail: silen_06@list.ru, mitrofanova@volsu.ru, ergunova-olga@yandex.ru

Аннотация. В статье авторами проведены теоретические и практические исследования развития рынка туризма в условиях ужесточения геополитических и экономических вызовов. Пандемия COVID-19, геополитические риски, локдауны и другие мировые тенденции туристического спроса оказали влияние на усиление внутреннего туризма стран мира. Авторы представили конвергенцию теоретических исследований по туризму в мире, акцентировали внимание на уже существующих зарубежных и отечественных исследованиях индустрии гостеприимства в парадигме устойчивого развития территорий в условиях усиливающейся неопределенности. Отдельно авторы рассмотрели аналитические данные по развитию туризма в мире и России. По итогам 2022 г. международные прибытия могут достичь 65% допандемического уровня, в соответствии с первоначальными сценариями ЮНВТО. Несмотря на растущие проблемы, указывающие на замедление темпов восстановления в ближайшие месяцы, экспортная выручка от туризма может достичь 1,2–1,3 трлн долл. США, что на 70–80% больше величины зарегистрированных 1,8 трлн долл. США. в 2019 г. Состояние индустрии туризма в России характеризуется тем, что по итогам 2022 года въездной туризм в РФ упал более чем на 90% концу, тогда как внутренний организованный туризм устойчиво развивался. Эмпирическую основу исследования составляет анализ показателей развития туризма в РФ и федеральных округах в динамике – от начала разработки национальной стратегии до реализации в регионах страны через разработку конкурентоспособного туристического продукта, консолидацию органов власти, а также деловую, стратегическую и операционную деятельность.

Ключевые слова: турист, мировой рынок туризма, устойчивое развитие, стратегия развития, вызовы, региональный туризм

Для цитирования: Пьянкова С.Г., Митрофанова И.В., Ергунова О.Т. 2023. Индустрия туризма в условиях «новой нормальности»: вызовы и перспективы. Экономика. Информатика, 50(2): 300–312. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-300-312

Tourism Industry in the New Normal: Challenges and Prospects

¹ Svetlana G. Pyankova, ^{2,3} Inna V. Mitrofanova, ⁴ Olga T. Ergunova

¹ Ural State University of Economics

62/45 8 March St / Narodnaya Volya St, Yekaterinburg, 620144, Russia

² Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

41 Chekhov St, Rostov-on-Don, 344006, Russia

³ Volgograd State University,

100 Universitetsky Pros., Volgograd, 400062, Russia

⁴ St. Petersburg Branch of the National Research University Higher School of Economics

16 Pechatnikov St, St. Petersburg, 190008, Russia

E-mail: silen_06@list.ru, mitrofanova@volsu.ru, ergunova-olga@yandex.ru

Abstract. In the article, the authors carried out theoretical and practical research on the development of the tourism market in the face of increasing geopolitical and economic challenges. The COVID-19 pandemic, geopolitical risks, lockdowns and other global trends in tourism demand have influenced the strengthening of domestic tourism in the countries of the world. The authors presented the convergence of theoretical studies on tourism in the world, focused on the existing foreign and domestic studies of the hospitality industry in the paradigm of sustainable development of territories in the face of increasing uncertainty. Separately, the authors examined analytical data on the development of tourism in the world and Russia. At the end of 2022, international arrivals could reach 65% of pre-pandemic levels in 2022, in line with UNWTO's initial scenarios. Despite growing concerns pointing to a slowdown in the pace of recovery in the coming months, tourism export earnings could reach US\$1.2–1.3 trillion in 2022, up or 70–80% of registered \$1.8 trillion in 2019. The state of the tourism industry in Russia is characterized by the fact that at the end of 2022, inbound tourism in the Russian Federation fell by more than 90%, while domestic organized tourism was developing steadily. The empirical basis of the study is the analysis of tourism development indicators in the Russian Federation and federal districts in dynamics – from the beginning of the development of a national strategy to implementation in the regions of the country through the development of a competitive tourism product, the consolidation of authorities, as well as business, strategic and operational activities.

Keywords: tourist, global tourism market, sustainable development, development strategy, challenges, regional tourism

For citation: Pyankova S.G., Mitrofanova I.V., Ergunova O.T., 2023. Tourism Industry in the New Normal: Challenges and Prospects. Economics. Information technologies, 50(2): 300–312 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-300-312

Введение

Туризм – явление, с помощью которого миллионы людей путешествуют по всему миру, а индустрия туризма – основной двигатель мировой экономики, высококонкурентная среда как между туристическими направлениями, так и внутри них. На протяжении многих столетий туризм как отрасль со значительным экономическим потенциалом и характеристиками, которые могут поставить его в парадигму устойчивого развития территорий, играл важную роль в поддержании экономики стран мира. В настоящее время индустрия туризма сталкивается с глобальными вызовами, которые подталкивают её к постоянной трансформации. По данным Организации Объединенных Наций по торговле и развитию (ЮНКАД), до кризиса Covid-19 туризм занимал третье место в мире по объему экспорта после химических веществ и топлива [Life after lockdown ..., 2020]. Восстановление этого ведущего сектора экономики имеет решающее значение для мировой экономики, причем сейчас, как никогда, однако для этого требуется набор согласованных и надежных действий.

Обзор литературы: конвергенция теоретических исследований по туризму

В последнее десятилетие в понятийно-категориальном аппарате, связанном со сферой туризма и путешествий, произошла эволюция подходов и концепций. Однако в настоящее время в профильной научной и профессиональной литературе исследования,

посвященные туризму и его характеристикам в условиях кризиса и появления глобальных рисков, присутствуют лишь фрагментарно. Первым и самым основным шагом в сборе и анализе надежных данных о туризме является создание применимого и последовательного определения термина «турист».

Существуют различные рабочие определения, а также ряд методов измерения этой деятельности. Всемирная туристическая организация (ЮНВТО) указывает ночевку вдали от дома в качестве основного критерия для подсчета туристов. Таким образом, «посетитель (внутренний, въезжающий или выезжающий) классифицируется как турист (или посетитель с ночевкой), если его поездка включает ночевку или как посетитель в тот же день (или экскурсант) в противном случае» [Glossary of Tourism terms, 2008]. С практической точки зрения для измерения международного туризма применяются многочисленные методы, такие как прибытие и отъезд, опросы и пребывание. Эти примеры демонстрируют разрыв, существующий между определениями и их реализацией. Меры, используемые для количественной оценки туристов, часто отражают наличие данных, а не наличие исчерпывающих определений и теоретических концепций. Кроме того, многие из этих мер основаны на устаревших методах, а не на современных технологиях и ненадежных наборах данных.

В то время как индустрия туризма хорошо известна и исследована, сам термин «турист» более неясен. В работах зарубежных исследователей С. Маккейба [McCabe, 2005], К.М. Холла К.М., Д.-Т. Ле-Клена и др. [Hall, Le-Klähn, Ram, 2017], М. Хасната С. Хасана [Hasnat, Hasan, 2018] термин «турист» рассматривался как теоретическая и концептуальная конструкция.

Дж. Ли, Л. Ху, Л. Танг и др., Harb G., Bassil Г. Харб, С. Бассил выделяют три теоретических аспекта туристической деятельности, включая свободный (добровольный) выбор, временную деятельность и мобильность вдали от дома [Li, Xu, Tang, Wang, 2018; Harb, Bassil, 2020], а С. Маккейб добавляет, что концепция туризма также зависит от культурного контекста и социальных обстоятельств, при этом некоторые туристы не всегда хотят, чтобы их называли таковыми [McCabe, 2005].

Огромные масштабы туризма во всем мире вызвали управленческую потребность в количественной оценке туристов как на мезо-, так и на макроуровнях. Тем не менее, у термина «турист» отсутствует единое концептуальное определение, что препятствует возможности установления практического определения этого термина. В свою очередь, это приводит к дилемме о том, как измерять туризм в целом и как количественно оценивать туристов в частности [Joo, Tasci, Woosnam, Maruyama et al., 2018].

В Ежегоднике ЮНВТО за 2019 год различные страны применяли пять основных методов подсчета количества международных туристов:

- 1) данные о прибытии/отъезде (например, Австралия, Израиль, Япония, Чили, Венгрия, и Куба);
- 2) обзоры туристов и связанные с ними расчеты и экстраполяции (например, Франция, Швеция и Соединенное Королевство);
- 3) сочетание данных о прибытии/отбытии и обследований (например, Латвия и Маврикий);
- 4) количество нерезидентов, которые останавливаются в жилье в городе (например, Бельгия, Финляндия, Палестинская автономия и Германия);
- 5) официальные отчеты и формы (например, Канада и США) [UNWTO World Tourism Barometer ..., 2019].

Д. Ли, С. Чжоу, М. Ванг подчеркивают, как исследования, использующие большие данные, расширяют понимание поведения туристов и туристического маркетинга и помогают преодолеть распространенную систематическую ошибку выборки в туристических обследованиях (которая не всегда может быть адекватно репрезентативной) [Li, Zhou, Wang, 2018].

Теоретическому и концептуальному анализу туризма в условиях неопределенности посвящены работы ряда российских ученых. В частности, И.В. Логунцова, В.Г. Гуляев, Т.В. Рассохина, Е.В. Козлова, Т.В. Солод и др. [Логунцова, 2020; Гуляев, Рассохина, Голодьева, 2016; Козлова, Солод, Завьялов, 2019] определили особенности опыта туризма в условиях кризиса и глобальных вызовов, а также выделили основные моменты и стратегические направления для дальнейших действий.

Кроме того, цикл работ авторов статьи посвящен выявлению трендов интеграции туризма, развитию государственно-частного партнерства как инструмента устойчивого развития индустрии гостеприимства и туризма [Пьянкова, Митрофанова, Ергунова, Рябова, 2022; Пьянкова, Ергунова, Богомолова, Белякова, 2022].

Необходимость формирования нового подхода к индустрии туризма обусловлена изменениями внешней и внутренней среды, связанными с появлением новых средств и каналов коммуникаций, развитием новых форматов взаимодействия, изменением потребительского поведения, формированием новых стандартов потребительских привычек, трансформацией конкурентной среды и др. Эти тенденции привели к повышению значимости и дальнейшему развитию комплексных подходов к управлению и переходу к устойчивому туризму [Кружалин, Меньшикова, Кружалин, 2022].

Использование новых драйверов развития туризма обусловлено необходимостью перестройки региональной системы туризма в маркетинговой логике для профилирования туристических потоков, пересмотра подходов к разработке концептуальных и стратегических документов. Практическая значимость исследования заключается в предложенном подходе к стратегии туризма как отрасли экономики, успешно прошедшей практическую апробацию.

Результаты исследования и дискуссия

Новые вызовы трансформации геополитической и экономической политики во всем мире, изменения потребительских требований в постпандемических условиях к туристическим услугам заставляют отрасль активно реагировать и наращивать конкурентоспособность и экономическую эффективность развития внутреннего туризма отдельных стран мира. На национальные рынки выходят новые внутренние игроки и территории, сменяются институты и туристические потоки. Все это происходит на фоне глобальных климатических изменений и цифровизации отрасли. По прогнозам Всемирной туристской организации ожидается, что к концу 2022 года международный туризм достигнет 65% допандемического уровня [Tourism Set to Return ..., 2023].

На рис. 1. представлены данные о международных туристических прибытиях. Международный туризм продемонстрировал высокие показатели в январе-сентябре 2022 года: за первые девять месяцев количество прибытий достигло 62% от допандемического уровня. По оценкам, за первые три квартала 2022 года международные поездки совершили 700 млн. туристов, что более чем вдвое (+133%) больше, чем за тот же период 2021 года. Результаты были подкреплены сильным неудовлетворенным спросом, повышением уровня доверия и снятием ограничений во все большем числе направлений.

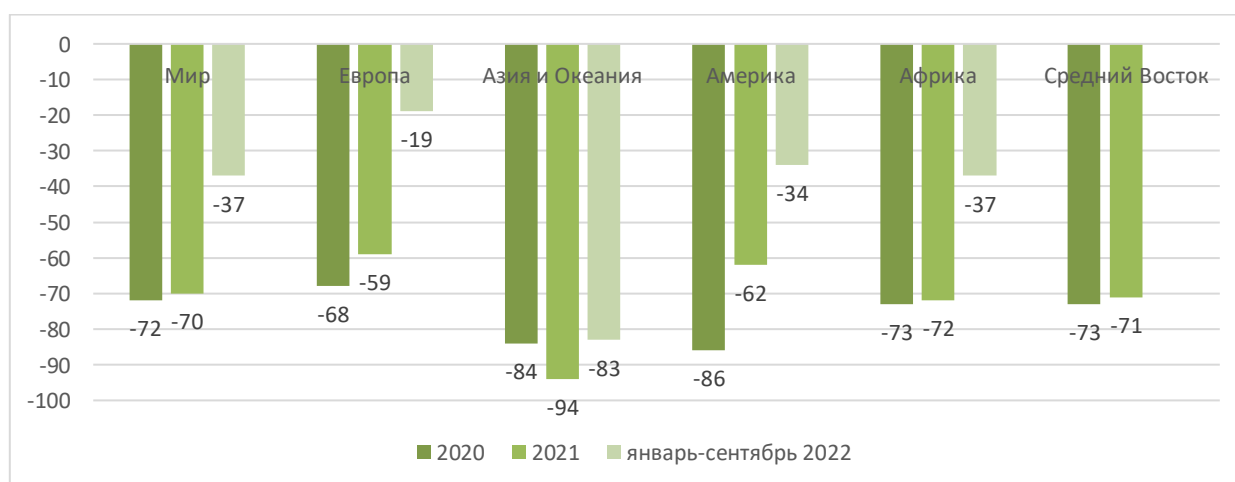


Рис. 1. Международные туристические прибытия, мир и регионы
[Unwto World Tourism Barometer, 2022]

Fig.1. International tourist arrivals, world and regions
[Unwto World Tourism Barometer, 2022]

Ежемесячное количество прибытий выросло с -64% в январе 2022 г. (по сравнению с 2019 г.) до -27% в сентябре, что подтверждает быстрое и устойчивое восстановление международных поездок в течение года.

Показатели туризма были особенно высокими в третьем квартале 2022 года, когда во всем мире было зарегистрировано около 340 млн. международных прибытий, что составляет почти 50% от общего числа за девять месяцев.

Европа (+126%) продолжала лидировать в восстановлении международного туризма до сентября, достигнув 81% допандемического уровня. На Ближний Восток в январе-сентябре 2022 года количество международных прибытий увеличилось в 2,3 раза по сравнению с аналогичным периодом 2021 года, поднявшись до 71% от уровня 2019 года.

Африка (+166%) и Америка (+106%) достигли 63% и 66% от уровня 2019 года соответственно. В Азиатско-Тихоокеанском регионе (+230%) число прибытий увеличилось более чем втрое за первые девять месяцев 2022 года, что отражает открытие многих направлений, хотя и осталось на 83% ниже уровня 2019 года.

Восстановление также можно увидеть в расходах на выездной туризм на основных исходных рынках, с сильными результатами во Франции и Германии, где расходы достигли -8% и -12% соответственно в сентябре в сравнении с показателями 2019 года.

На рис. 2. представлены основные факторы, влияющие на восстановление международного туризма.

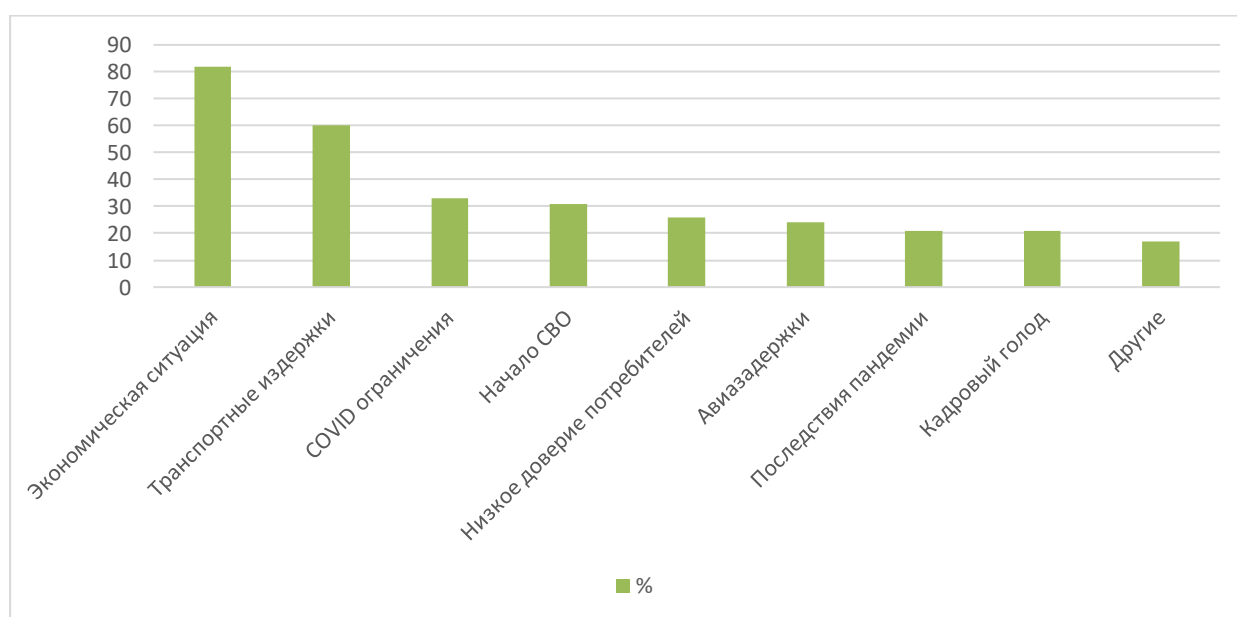


Рис. 2. Основные факторы, влияющие на восстановление международного туризма [Unwto World Tourism Barometer, 2022]
Fig. 2. Key Factors Affecting the Recovery of International Tourism [Unwto World Tourism Barometer, 2022]

По данным рис. 2. можно сделать вывод, что эксперты по туризму констатируют снижение уровня потребительского доверия по итогам 2022 года, хотя снижение и ослабление ограничений, связанных с последствиями пандемии COVID-2019, способствует высвобождению отложенного спроса.

Изменение геополитической ситуации, связанной с последствиями специальной военной операции РФ в Украине, ставит новые вызовы к восстановлению доверия к глобальным путешествиям в связи с закрытием воздушного пространства РФ и Украины. В 2020 году на Россию и Украину приходилось в совокупности 3% мировых расходов на международный туризм и если конфликт затянется, может быть потеряно не менее 14 млрд долл. США доходов от мирового туризма. Негативные последствия военного конфликта также негативно

отражаются на глобальном экономическом росте и могут усилиться в 2023 году. Недавний всплеск цен на нефть (цена на Brent достигла самого высокого уровня за 10 лет) и растущая инфляция делают проживание и транспортные услуги более дорогими, оказывая дополнительное давление на бизнес, покупательную способность потребителей и сбережения.

По итогам 2022 года международные прибытия могут достичь 65% допандемического уровня, в соответствии с первоначальными сценариями ЮНВТО. Несмотря на растущие проблемы, указывающие на замедление темпов восстановления в ближайшие месяцы, экспортная выручка от туризма может достичь 1,2–1,3 трлн долл. США за 2022 год, что составляет 70–80% от зарегистрированных 1,8 трлн долларов США. в 2019 году.

Развитие туризма в России. В Российской Федерации так же, как и в других странах мира, развитие туристической отрасли с ориентацией, прежде всего, на внутреннего потребителя, сильно зависят от экономической и геополитической ситуации. На рис. 3 и 4 представлены основные показатели развития туристической отрасли в Российской Федерации в 2014–2021 годах.

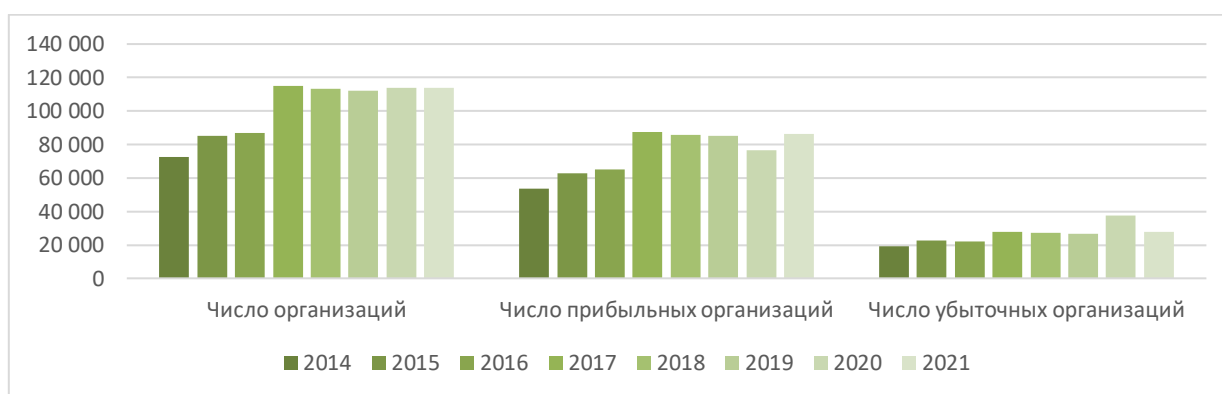


Рис. 3. Количество организаций туристической отрасли в РФ в 2014–2021 годах [Туризм в России, 2022]
Fig. 3. Number of organizations in the tourism industry in the Russian Federation in 2014–2021 [Tourism in Russia, 2022]

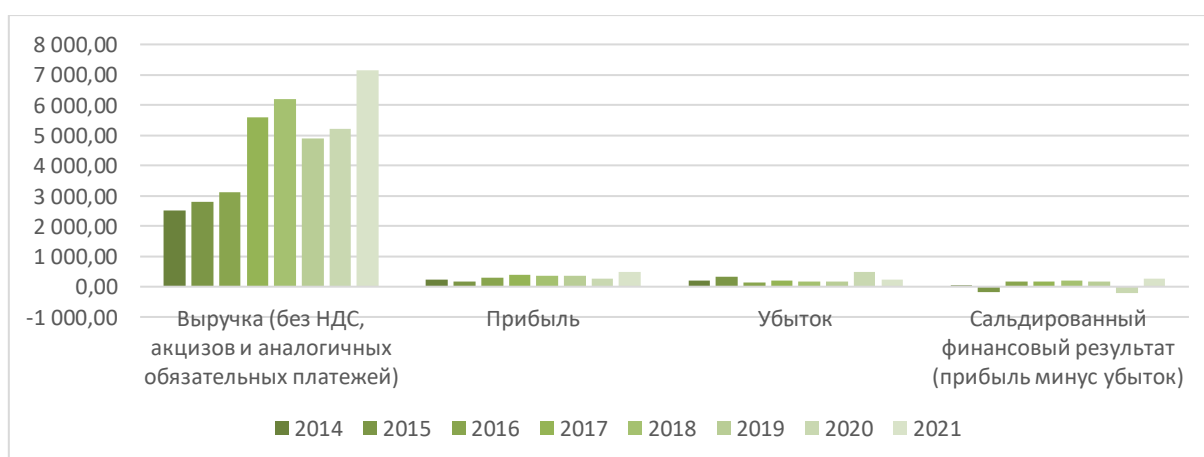


Рис. 4. Основные финансовые показатели развития туристической отрасли в РФ в 2014–2021 годах [Туризм в России, 2022]
Fig. 4. The main financial indicators of the development of the tourism industry in the Russian Federation in 2014–2021 [Tourism in Russia, 2022]

По данным Федеральной службы государственной статистики, количество организаций сферы туризма имеет тенденцию к восстановлению после спада в 2019 году. Так, в 2021 году их число практически приблизилось к показателям 2017 года так же, как и количество прибыльных организаций в 2021 году (86096 ед.) в том числе растет.

На рис. 5 отражены данные доли валовой добавленной стоимости отрасли туризма в ВВП России за 2017–2021 годы.

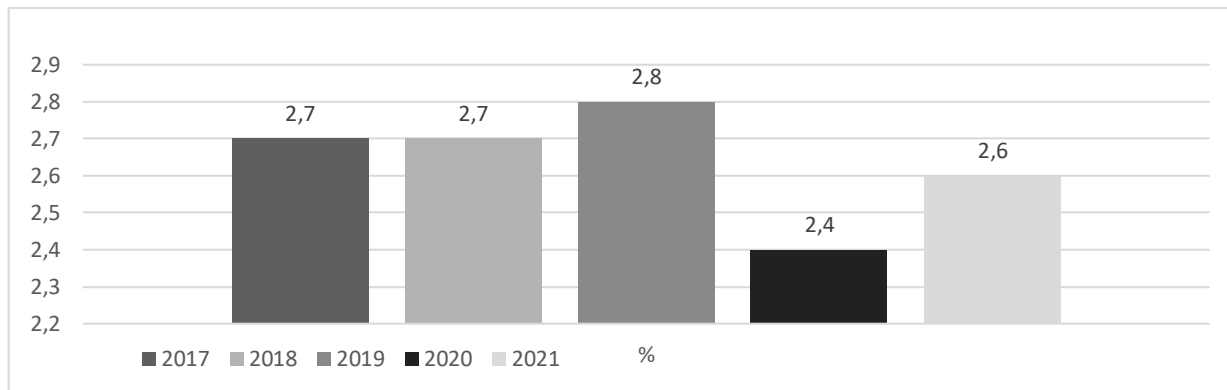


Рис. 5. Доля валовой добавленной стоимости отрасли туризма в ВВП России (в основных текущих ценах, %) [Туризм в России, 2022]

Fig. 5. Share of gross value added of the tourism industry in Russia's GDP (in basic current prices, %) [Tourism in Russia, 2022]

Таким образом, к 2021 году туристическая отрасль играла ограниченную роль в экономике России. Его исторически искаженная структура (с преобладанием выездного туризма) привела к тому, что основные бенефициары российских туристических расходов были в других странах, однако активная государственная политика по развитию внутреннего туризма в рамках реализации Национального проекта «Туризм и индустрия гостеприимства» с 2020 года меняет негативную ситуацию в лучшую сторону. Данный вопрос подробно представлен в статье авторов «Развитие внутреннего туризма в России в контексте реализации национального проекта «Туризм и индустрия гостеприимства»» [Национальный проект «Туризм и индустрия ...», 2020; Пьянкова, Ергунова, Митрофанова, Глазкова, 2021]. В целом же в сравнении с 2021 годом туристический рынок России в 2022 году оправился от пандемийной неопределенности и получил возможность работать с внутренними туристами. На рис. 6 представлены показатели спроса на услуги в сфере внутреннего туризма за 2017–2022 годы, где баланс – это разность оценок «благоприятная» и «неблагоприятная», «улучшение» и «ухудшение» (в процентных пунктах).

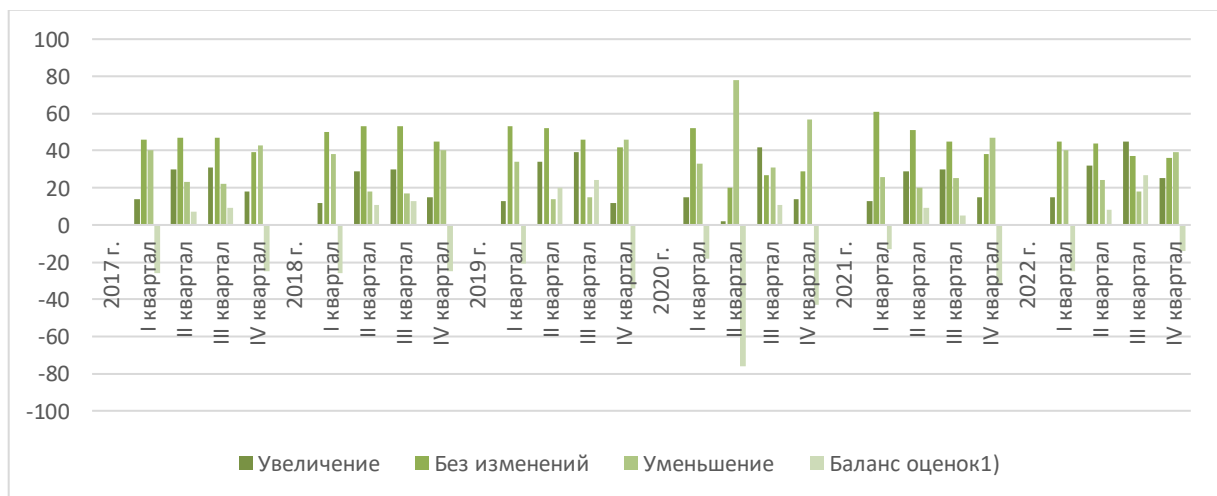


Рис. 6. Показатели спроса на услуги в сфере внутреннего туризма в РФ за 2017–2022 годы, пп. [Туризм в России, 2022]

Fig. 6. Indicators of demand for services in the field of domestic tourism in the Russian Federation for 2017–2022, percentage points [Tourism in Russia, 2022]

Основной тенденцией 2022 года стал рост спроса на российские турпродукты, причем речь идет о спросе со стороны платежеспособного населения. На рис. 7 представлены показатели спроса на услуги в сфере выездного туризма в РФ в период с 2017 по 2022 год.

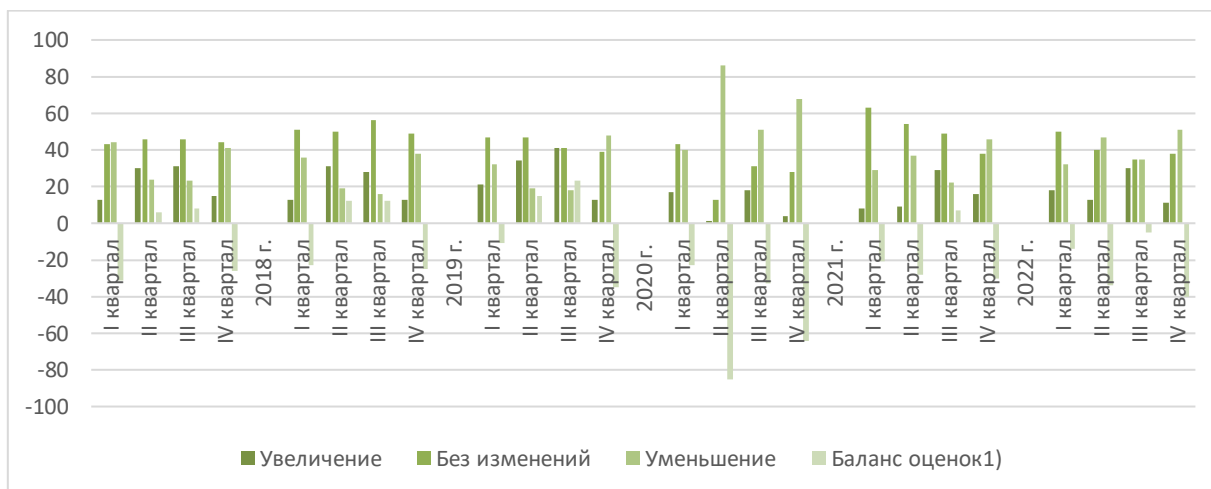


Рис. 7. Показатели спроса на услуги в сфере выездного туризма в РФ в 2017–2022 годах [Туризм в России, 2022]
Fig. 7. Indicators of demand for services in the field of outbound tourism in the Russian Federation in 2017–2022 [Tourism in Russia, 2022]

Перспективы зарубежных направлений при негативном сценарии усиления санкционных ограничений очень сильно зависят от валютного курса, который в 2022 году был достаточно выгодным для россиян.

На рис. 8. представлены данные туристического потока по федеральным округам РФ за первые два квартала 2022 года.

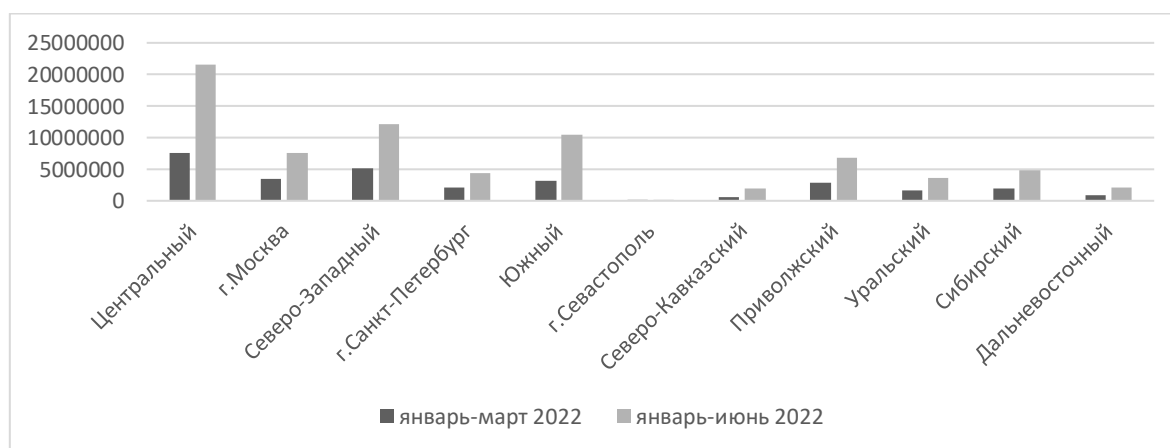


Рис. 8. Оценка туристского потока по федеральным округам РФ (чел.) [Туризм в России, 2022]
Fig. 8. Assessment of the tourist flow by federal districts of the Russian Federation [Tourism in Russia, 2022]

В течение 2022 года рост произошел по всем направлениям внутреннего туризма практически во всех федеральных округах РФ, которые за последние годы готовились к приему внутренних туристов и развивали данное направление. Такие регионы, как правило, расположены недалеко от туристических рынков или турпотоков. В частности, через Воронежскую область проходит массовый поток туристов, движущихся по трассе М-4 на юг, к морю. Ярославская область и присоединившаяся к ней Костромская так же, как Тульская и Владимирская, активно привлекают туристов из Москвы. В основном речь

идет о культурно-познавательном туризме; увеличивается приток туристов в Самарскую область [Итоги развития туристической области ..., 2023].

Общее количество поездок россиян за рубеж со всеми целями визитов (не только туризм) за три квартала 2022 года составило 17,4 млн. поездок, т.е. на 13,8% больше, чем за тот же период 2021 года, тогда как именно с целью туризма совершено 4,74 млн поездок, что почти втрое меньше, чем за аналогичный период допандемийного 2019 года. При этом разницы с прошлым годом почти нет – рост составил 125 тыс. поездок [Россияне за три квартала совершили ..., 2022].

Однако нужно отметить, что цифры по выездному турпотоку за 2022 год, представленные на рис. 8., не в полной мере достоверны по причине того, что в методике Пограничной службы ФСБ России по учету выезда за рубеж пассажиров в условиях ограниченной авиатransпорации в связи с санкциями фиксируется только первый пункт посадки самолета, без учета конечной точки маршрута, указанного в билете [Пограничная служба ФСБ России, 2022]. Это, прежде всего, касается таких стран, как Болгария, Вьетнам, Таиланд, Шри-Ланка, Сейшелы, Япония и т.д., где фиксируют прибытия по гражданству в несколько раз больше. Так, например, за девять месяцев в Японию гражданами РФ было совершено 33 поездки, а по данным Национальной туристической организации Японии страну посетили 5,2 тыс. российских туристов, Шри-Ланку – 13,8 тыс. человек, а по данным департамента туризма Шри-Ланки только за первое полугодие в страну въехало 46,3 тыс. туристов из РФ [Официальные цифры по выездному турпотоку, 2022].

К основным перспективам развития внутреннего туризма в России следует отнести: создание национальных туристических продуктов и маршрутов между регионами; развитие событийного туризма, проведение гастрономических фестивалей; создание специальных образовательных площадок; разработку межрегиональных маршрутов; развитие сельских территорий; распространение туристического кэшбэка 20% при оплате банковской картой «МИР» и др.

Развитие туризма в регионах Уральского федерального округа. В субъектах Уральского федерального округа РФ развитие туристической отрасли в постпандемийный период было связано с переориентацией национальных приоритетов развития внутреннего туризма в стране в условиях экономической и геополитической турбулентности 2020–2021 годов. На рис. 9–10 представлены основные показатели развития предприятий туристической отрасли в регионах Уральского федерального округа (далее – УрФО) в 2018–2021 годах.

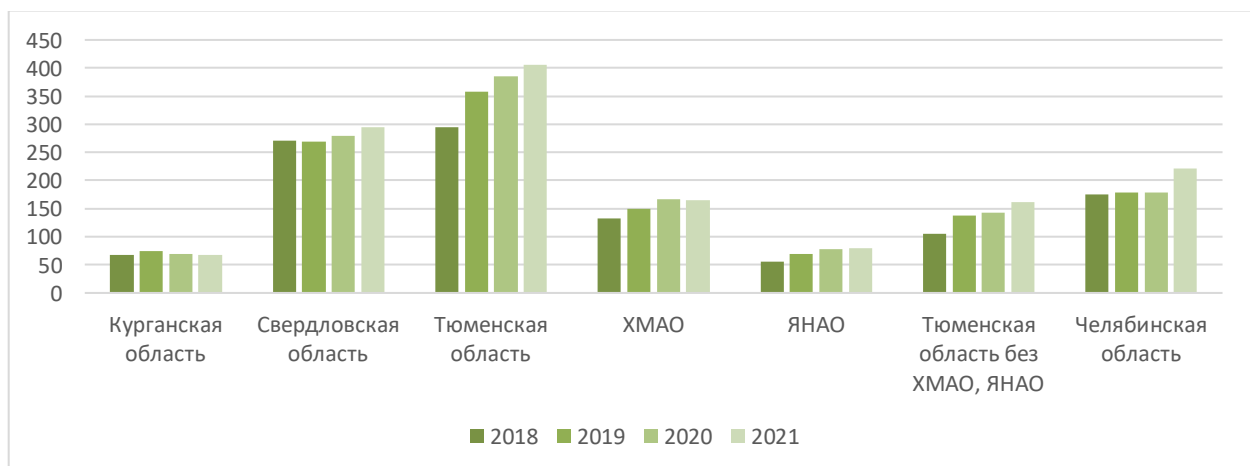


Рис. 9. Количество гостиниц в регионах УрФО в 2018–2021 годах, ед. [Туризм в России, 2022]
Fig. 9. Number of hotels in the regions of the Ural Federal District in 2018–2021 [Tourism in Russia, 2022]

По данным Федеральной службы государственной статистики, количество гостиниц имеет тенденцию к восстановлению после спада в 2019 году, так, в 2021 году их число превысило допандемийные показатели. В РФ по итогам 2021 года число гостиниц достигло 28 961 единиц, т.е. на 10% выше показателя 2018 года, составив 80338 мест, тогда как в УрФО число гостиниц в 2021 году составило 9912 единиц и число мест – 6011 единиц, увеличившись

на 22,2%, соответственно, и превысив в 2 раза общероссийский темп роста числа гостиниц. Лидером по количеству гостиниц является Тюменская область (кроме ХМАО и ЯНАО) с количеством гостиниц 405, опередив Свердловскую область (295 единиц) в 2021 году на 37,3%, аутсайдером рейтинга является Курганская область, уступающая лидеру в 6 раз.



Рис. 10. Показатели деятельности туристских фирм по субъектам УрФО РФ в 2021 году, ед. [Туризм в России, 2022]
Fig. 10. Performance indicators of travel companies by subjects of the Ural Federal District of the Russian Federation in 2021 [Tourism in Russia, 2022]

По данным Федеральной службы государственной статистики, количество организаций сферы туризма в регионах УрФО РФ имеет тенденцию к восстановлению после спада в 2019 году, по числу туристских компаний лидерами являются Тюменская область (508 компаний) и Свердловская область (499), однако по числу отправленных туристов неоспоримым лидером является Свердловская область с показателем 231,8 тыс. туристов, что выше на 58,2 % чем в Тюменской области.

На рис. 11. представлены данные туристического потока по субъектам Уральского федерального округа РФ за первые 10 месяцев 2022 года.



Рис. 11. Оценка туристского потока субъектам Уральского федерального округа РФ за первые 10 месяцев 2022 года (чел.) [Туризм в России, 2022]
Fig. 11. Assessment of the tourist flow to the subjects of the Ural Federal District of the Russian Federation for the first 10 months of 2022 (people) [Tourism in Russia, 2022]

Несмотря на количественный рост показателей по отношению к 2021 году, туристическая отрасль продолжила играть достаточно ограниченную роль в экономике субъектов России, несмотря на снижение потоков выездного туризма и усиление региональной политики по развитию туристического потенциала регионов УрФО и привлечению туристов из других регионов РФ. В течение 2022 года рост произошел по всем направлениям внутреннего туризма практически во всех федеральных округах РФ, которые за последние годы готовились к приему внутренних туристов и развивали данное направление. Свердловская и Тюменская области по сравнению с другими регионами УрФО более активно используют свой туристический потенциал в развитии внутреннего туризма.

Основными драйверами развития внутреннего туризма в субъектах УрФО РФ могут стать: включение региональных туристических продуктов и маршрутов в список национальных маршрутов при коллаборации регионов, развитие событийного, образовательного, познавательного и культурного туризма, создание специальных интерактивных образовательных площадок и др.

Заключение

Проведенное исследование показало, что вызовы современности и перспектива ужесточения санкционных ограничений против РФ диктуют необходимость переосмысления целевых рынков продвижения, поведенческой сегментации целевых аудиторий, сценарного проектирования потребительского опыта, модернизация концепций развития регионов России в логике устойчивого развития, в контексте международной и национальной туристических систем.

Оптимизация организационно-экономических механизмов, цифровых и программных процессов в сфере туризма предполагает использование новых научно-методических рекомендаций по структурированию элементов внутреннего туризма и применение целостного подхода к стратегии развития устойчивого туризма в условиях неопределенности и кризиса.

В сложившейся политической, экономической, эпидемиологической ситуации стратегические подходы и оперативные меры по продвижению туристического потенциала регионов на внутреннем рынке требуют трансформации и реализации целостного концептуального подхода. В постпандемический период изменившаяся логика потребительского спроса и предложения продавца туристических услуг коренным образом скорректировала производственные связи и каналы сбыта, репозиционирование рынков, что позволило развивать сферу туризма и индустрию гостеприимства внутри страны.

Список источников

- Итоги развития туристической области в 2022-м и прогнозы на 2023 год. Strategy Partners. URL: <https://strategy.ru/news/106> (дата обращения: 09.01.2023).
- Национальный проект «Туризм и индустрия гостеприимства», 2020, Министерство экономического развития Российской Федерации. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/turizm/nacionalnyy_proekt_turizm_i_industriya_gostepriimstva/ (дата обращения: 10.01.2023).
- Официальные цифры по выездному турпотoku мало соответствуют реальности. RATAnews. 07.11.2022. URL: https://ratanews.ru/news/news_7112022_1.stm (дата обращения: 10.01.2023).
- Пограничная служба ФСБ России. <http://ps.fsb.ru/> (дата обращения: 15.01.2022).
- Россияне за три квартала совершили 17,4 млн поездок за рубеж со всеми целями. Интерфакс. 07.11.2022. URL: <https://tourism.interfax.ru/ru/news/articles/93000/> (дата обращения: 25.12.2022).
- Туризм в России. Сборник. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/turizm/publications> (дата обращения: 30.12.2022).
- Glossary of Tourism terms. Glossary. UNWTO. 2008. URL: <https://www.unwto.org/glossary-tourism-terms> (дата обращения: 09.01.2023).
- Hall C. M., Le-Klähn D.-T., Ram Y. Tourism, public transport and sustainable mobility // Channel View Publications. Volume 4 in the series Tourism Essentials. 2017. DOI: 10.21832/9781845415990. URL: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.21832/9781845415990/html> (дата обращения: 10.01.2023).
- Life after lockdown: Rebuilding tourism globally, sustainably. United Nations Conference on Trade and Development. 2020. URL: <https://unctad.org/news/life-after-lockdown-rebuilding-tourism-globally-sustainably> (дата обращения: 10.01.2023).

- Tourism Set to Return to Pre-pandemic levels in Some Regions in 2023. UNWTO. URL: <https://www.unwto.org/taxonomy/term/347> (дата обращения: 17.01.2023).
- UNWTO World Tourism Barometer (Russian version), 2019. URL: <https://www.e-unwto.org/doi/epdf/10.18111/wtobarometerrus.2019.17.1.4?role=tab> (дата обращения: 20.12.2022).
- Unwto World Tourism Barometer. UNWTO. 2022. URL: <https://www.unwto.org/unwto-world-tourism-barometer-data> (дата обращения: 24.11.2022).

Список литературы

- Гуляев В.Г., Рассохина Т.В., Голодяева В.И. 2016. Научные подходы к развитию туризма в Российской Федерации в условиях кризиса, санкций и геополитической нестабильности. Вестник РМАТ, 1: 126–131.
- Козлова Е.В., Солод Т.В., Завьялов А.А. 2019. Международный туризм в условиях кризиса мировой экономики: тенденции и проблемы развития. Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление, 4(107): 7–13.
- Кружалин В.И., Меньшикова Т.Н., Кружалин К.В. 2022. Стратегическое планирование как основа устойчивого развития туризма в регионах Российской Федерации. Географический вестник, 1(60): 136–149. DOI: 10.17072/2079-7877-2022-1-136-149.
- Логунцова И.В. 2020. Индустрия туризма в условиях пандемии коронавируса: вызовы и перспективы. Государственное управление, 80: 50–67. DOI: 10.24411/2070-1381-2020-10063.
- Пьянкова С.Г., Ергунова О.Т., Богомолова И.В., Белякова Н.Ю. 2022. Тренды интеграции MICE-туризма в приоритетные сферы социально-экономического развития региона. Региональная экономика. Юг России, 11 (3). С. 16–27. DOI: 10.15688/re.volsu.2022.3.2.
- Пьянкова С.Г., Ергунова О.Т., Митрофанова И.В., Глазкова Н.Г. 2021. Развитие внутреннего туризма в России в контексте реализации национального проекта «Туризм и индустрия гостеприимства». Экономика: вчера, сегодня, завтра, 11, (9A): 34–50. DOI: 10.34670/AR.2021.86.19.003..
- Пьянкова С.Г., Митрофанова И.В., Ергунова О.Т., Рябова И.А. 2022. Государственно-частное партнерство как инструмент устойчивого развития индустрии гостеприимства и туризма: российский кейс // Экономика: вчера, сегодня, завтра, 12 (3A): 448–461. DOI: 10.34670/AR.2022.35.53.050.
- Harb G., Bassil C. 2020. Regional growth, domestic and foreign tourism in NUTS regions: New insights from the old continent. Journal of Travel Research, 61 (2): 279–298. DOI: 10.1177/0047287520979673.
- Hasnat M. M., Hasan S. 2018. Identifying tourists and analyzing spatial patterns of their destinations from location-based social media data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 96: 38–54. DOI: 10.1016/j.trc.2018.09.006.
- Li D., Zhou X., Wang M. 2018. Analyzing and visualizing the spatial interactions between tourists and locals: A Flickr study in ten US cities. Cities, 74: 249–258. DOI: 10.1016/j.cities.2017.12.012.
- Li J., Xu L., Tang L., Wang S., Li L. 2018. Big data in tourism research: A literature review. Tourism Management, 68: 301–323. DOI: 10.1016/j.tourman.2018.03.009.
- Joo D., Tasci A. D., Woosnam K. M., Maruyama N. U., Hollas C. R., Aleshinloye K. D. 2018. Residents' attitude towards domestic tourists explained by contact, emotional solidarity and social distance. Tourism Management, 64: 245–257. DOI: 10.1016/j.tourman.2017.08.012.
- McCabe S. 2005. 'Who is a tourist?' A critical review. Tourist studies, 5 (1): 85–106. DOI: 10.1177/1468797605062716.

References

- Gulyaev V.G., Rassokhina T.V., Golodyaeva V.I. 2016. Nauchnyye podkhody k razvitiyu turizma v Rossiyskoy Federatsii v usloviyakh krizisa, sanktsiy i geopoliticheskoy nestabil'nosti [Scientific approaches to the development of tourism in the Russian Federation in the conditions of crisis, sanctions and geopolitical instability]. Vestnik RMAT, 1: 126–131.
- Kozlova E.V., Solod T.V., Zavyalov A.A. 2019. Mezhdunarodnyy turizm v usloviyakh krizisa mirovoy ekonomiki: tendentsii i problemy razvitiya [International tourism in the context of the global economic crisis: trends and development problems]. Nauka i obrazovaniye: khozyaystvo i ekonomika; predprinimatel'stvo; pravo i upravleniye, 4(107): 7–13.
- Kruzhalin V.I., Menshikova T.N., Kruzhalin K.V. 2022. Strategicheskoye planirovaniye kak osnova ustoychivogo razvitiya turizma v regionakh Rossiyskoy Federatsii [Strategic planning as a basis for sustainable tourism development in the regions of the Russian Federation]. Geograficheskiy vestnik, 1(60): 136–149. DOI: 10.17072/2079-7877-2022-1-136-149.



- Loguntsova I.V. 2020. Industriya turizma v usloviyakh pandemii koronavirusa: vyzovy i perspektivy [Tourism industry in the context of the coronavirus pandemic: challenges and prospects]. Gosudarstvennoye upravleniye, 80: 50–67. DOI: 10.24411/2070-1381-2020-10063.
- Pyankova S.G., Ergunova O.T., Bogomolova I.V., Belyakova N.Yu. 2022. Trendy integratsii MICE-turizma v prioritetye sfery sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya regiona [Trends in the integration of MICE tourism into the priority areas of the socio-economic development of the region]. Regional'naya ekonomika. Yug Rossii, 11 (3). pp. 16–27. DOI: 10.15688/re.volsu.2022.3.2.
- Pyankova S.G., Ergunova O.T., Mitrofanova I.V., Glazkova N.G. 2021. Razvitiye vnutrennego turizma v Rossii v kontekste realizatsii natsional'nogo proyekta "Turizm i industriya gostepriimstva" [Development of domestic tourism in Russia in the context of the implementation of the national project "Tourism and hospitality industry"]. Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra, 11, (9A): 34–50. DOI: 10.34670/AR.2021.86.19.003.
- Pyankova S.G., Mitrofanova I.V., Ergunova O.T., Ryabova I.A. 2022. Gosudarstvenno-chastnoye partnerstvo kak instrument ustoychivogo razvitiya industrii gostepriimstva i turizma: rossiyskiy keys [Public-private partnership as a tool for sustainable development of the hospitality and tourism industry: the Russian case]. Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra, 12 (3A): 448–461. DOI: 10.34670/AR.2022.35.53.050.
- Harb G., Bassil C. 2020. Regional growth, domestic and foreign tourism in NUTS regions: New insights from the old continent. Journal of Travel Research, 61 (2): 279–298. DOI: 10.1177/0047287520979673.
- Hasnat M. M., Hasan S. 2018. Identifying tourists and analyzing spatial patterns of their destinations from location-based social media data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 96: 38–54. DOI: 10.1016/j.trc.2018.09.006.
- Li D., Zhou X., Wang M. 2018. Analyzing and visualizing the spatial interactions between tourists and locals: A Flickr study in ten US cities. Cities, 74: 249–258. DOI: 10.1016/j.cities.2017.12.012.
- Li J., Xu L., Tang L., Wang S., Li L. 2018. Big data in tourism research: A literature review. Tourism Management, 68: 301–323. DOI: 10.1016/j.tourman.2018.03.009.
- Joo D., Tasci A. D., Woosnam K. M., Maruyama N. U., Hollas C. R., Aleshinloye K. D. 2018. Residents' attitude towards domestic tourists explained by contact, emotional solidarity and social distance. Tourism Management, 64: 245–257. DOI: 10.1016/j.tourman.2017.08.012.
- McCabe S. 2005. 'Who is a tourist?' A critical review. Tourist studies, 5 (1): 85–106. DOI: 10.1177/1468797605062716.

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

Пьянкова Светлана Григорьевна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры региональной, муниципальной экономики и управления, Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия

Митрофанова Инна Васильевна, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник Лаборатории региональной экономики, Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия; профессор кафедры экономической теории, региональной экономики и предпринимательства, Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия

Ергунова Ольга Титовна, кандидат экономических наук, доцент, доцент Департамента менеджмента, Санкт-Петербургский филиал Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Svetlana G. Pyankova, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Regional, Municipal Economics and Management, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

Inna V. Mitrofanova, Doctor of Economic Sciences, Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Regional Economics, Federal Research Centre Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (SSC RAS), Rostov-on-Don, Russia; Professor of the Department of Economic Theory, Regional Economy and Entrepreneurship, Volgograd State University, Volgograd, Russia

Olga T. Ergunova, PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management, St. Petersburg Branch of the National Research University Higher School of Economics (NRU HSE – St. Petersburg), St. Petersburg, Russia

УДК 336.66:658

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-313-325

Актуализация модели потенциальности предприятия и ее использование для управления его эффективностью

Чижова Е.Н., Бендерская О.Б.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

E-mail: chizhova_elena@mail.ru, obenderskaya@gmail.com

Аннотация. Одним из наиболее обобщающих показателей оценки эффективности функционирования хозяйствующего субъекта обратной направленности является его потенциальность, которую можно определить, как уровень потребности хозяйствующего субъекта (предприятия) в ресурсном потенциале для достижения целевых результатов своего функционирования. Практикой востребованы научно обоснованные методы и инструменты управления эффективностью. Обратные показатели эффективности являются подходящей основой для разработки математических моделей управления эффективностью путем выделения управляемых факторов ее изменения. Целью настоящей работы является актуализация разработанной авторами ранее факторной модели потенциальности предприятия в соответствии с современными методологическими подходами, актуальной нормативной и информационной базой управления хозяйственной деятельностью. Полученная модель включает семнадцать факторов, отражает влияние уровня использования различных активов предприятия на эффективность его хозяйственной деятельности и позволяет: количественно оценивать их вклад в потенциальность предприятия; выделять приоритетные направления управления ресурсным потенциалом в целях минимизации общей потенциальности; выявлять и измерять резервы сокращения общей потенциальности за счет каждого элемента ресурсного потенциала; разрабатывать управленческие решения по освоению этих резервов; прогнозировать и оптимизировать уровень потенциальности на этапе планирования деятельности предприятия.

Ключевые слова: управление предприятиями, анализ хозяйственной деятельности, эффективность хозяйственной деятельности, потенциальность предприятия, факторное моделирование

Для цитирования: Чижова Е.Н., Бендерская О.Б. 2023. Актуализация модели потенциальности предприятия и ее использование для управления его эффективностью. Экономика. Информатика, 50(2): 313–325. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-313-325

Updating the Enterprise Potential Capacity Model and Its Use to Manage Its Efficiency

Elena N. Chizhova, Olga B. Benderskaya

Belgorod State Technological University named after V.G. Schukhov

46, Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russia

Email: chizhova_elena@mail.ru, obenderskaya@gmail.com

Abstract. One of the most generalizing indicators for evaluating the effectiveness of the functioning of an economic entity of the reverse direction is its potential intensity, which can be defined as the level of need of an economic entity (enterprise) in the resource potential to achieve the target results of its functioning. Practice requires evidence-based methods and tools for performance management. Inverse performance indicators are a suitable basis for the development of mathematical models of performance management by highlighting the controllable factors of its change. The purpose of this work is to update the factor model of the potential intensity of an enterprise developed by the authors earlier in accordance with modern methodological approaches, the current regulatory and information base for managing economic activities. The resulting model includes seventeen factors, reflects the impact of the level of use of various assets of the enterprise on the efficiency of its economic activity and allows: to quantify their contribution to the

potential intensity of the enterprise; identify priority areas for managing resource potential in order to minimize the overall potential intensity; identify and measure the reserves for reducing the overall potential intensity at the expense of each element of the resource potential; develop management decisions for the development of these reserves; predict and optimize the level of potential intensity at the planning stage of the enterprise.

Keywords: enterprise management, analysis of economic activity, efficiency of economic activity, potential capacity of an enterprise, factor modeling

For citation: Chizhova E.N., Benderskaya O.B. 2023. Updating the Enterprise Potential Capacity Model and Its Use to Manage Its Efficiency. Economics. Information technologies, 50(2): 313–325 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-313-325

Введение

Существует множество критериев оценки эффективности деятельности хозяйствующих субъектов. Один из них – потенциалоёмкость предприятия или производственной системы. В контексте разных направлений экономических исследований этот термин имеет разное смысловое наполнение. Так, в экономике строительного комплекса утвердилось представление о потенциалоёмкости производственной системы, как о результате ее функционирования [Данилкин, 2016], или, что точнее, результативности функционирования [Смирнов, Осипов, 2016; Avilova et al., 2019], как об интегральной оценке производительности (мощности) системы [Цапко, Алфатлави Хассанин Абд Али, 2019; Avilova et al., 2020]. П.Г. Грабовый и В.С. Гребенщиков определяют потенциалоёмкость, как оценку «ее [любой производственной системы] потенциальных возможностей по объему выпуска продукции соответствующего вида и качества (в натуральном или стоимостном выражении) за определенный временной период (как правило, годовой плановый период)» [Грабовый, Гребенщиков, 2017], что согласуется с понятием производственной мощности предприятия [Сергеев, Веретенникова, 2019]. В такой интерпретации признаком повышения эффективности системы является рост ее потенциалоёмкости [Grabovyy, Zhikharev, 2022].

Другое, по сути, противоположное значение, имеет термин «потенциалоёмкость», используемый как аналогичный понятиям фондоемкости или материалоемкости производства [Догиль и др., 2014; Якобсон, Сайфуллин, 2016]. В этом значении потенциалоёмкость предприятия – это его способность к достижению максимальных результатов при минимальных объемах потенциала, и признаком повышения эффективности является снижение потенциалоёмкости.

Ранее потенциалоёмкость предприятия определялась авторами как способность предприятия, обладающего определенной системой ресурсов, достигать целевых результатов своего функционирования [Бендерская, Чижова, 2004; Бендерская, Чижова, 2005 а, б]. В данной работе конкретизируем это определение следующим образом: потенциалоёмкость хозяйствующего субъекта (предприятия) – это уровень его потребности в ресурсах для достижения целевых результатов своего функционирования.

Как показатель, потенциалоёмкость предприятия представляет собой объем ресурсного потенциала, приходящийся на единицу получаемых результатов деятельности. Это – обратный показатель эффективности, то есть такой, изменение которого обратно пропорционально изменению эффективности. Именно обратные показатели дают плодотворную почву для разработки математических моделей управления эффективностью путем выделения управляемых факторов ее изменения.

За годы, прошедшие с первых публикаций по данной тематике, претерпели изменения как методологические подходы, так и нормативная и информационная база анализа хозяйственной деятельности, что побудило авторов провести актуализацию разработанной нами ранее факторной модели потенциалоёмкости предприятия.

Результаты и их обсуждение

Для построения исходной формулы расчета величины потенциальности в качестве объема ресурсного потенциала предприятия используем величину совокупных активов из бухгалтерского баланса. Показатель результатов деятельности выбирают исходя из целей хозяйствующего субъекта. Если целью является получение доходов и извлечение прибыли, то в качестве результативного показателя традиционно используют выручку, то есть величину дохода от продажи результатов основной деятельности хозяйствующего субъекта. Использование для расчетов выручки объясняется, прежде всего, доступностью этого показателя. Он отражается в отчете о финансовых результатах, который составляется даже теми организациями, которые формируют бухгалтерскую отчетность по упрощенной форме. Показатель выручки доступен любым заинтересованным пользователям даже в том случае, если в открытом доступе находятся только бухгалтерский баланс и отчет о финансовых результатах организации.

Вместе с тем, следует признать, что выручка не является идеальным показателем результата использования совокупных активов, так как отражает доходы только по основной деятельности. Более логичным в этом смысле представляется измерять результат оборота потенциала предприятия суммой всех его доходов, включая доходы от участия в других организациях, проценты к получению и прочие доходы, отражаемые, соответственно, в статьях 2310, 2320 и 2340 отчета о финансовых результатах. Однако и сумма всех доходов тоже неточно отражает величину оборота средств хозяйствующего субъекта. В первую очередь, это происходит из-за особенностей признания доходов в бухгалтерском учете. Какая-то часть отражаемых в отчете о финансовых результатах доходов не сопровождается денежным притоком (как, например, выручка, признанная по факту отгрузки продукции), а некоторые денежные поступления не признаются доходами (как, например, суммы предоплаты за продукцию).

Чтобы избавиться от этих неточностей, предлагается использовать вместо показателей доходов из отчета о финансовых результатах данные о поступлениях денежных средств в организацию из отчета о движении денежных средств по всем видам операций: текущим, финансовым и инвестиционным, которые отражаются в статьях 4110, 4210 и 4310 отчета. Эти суммы составляют положительный денежный поток организации и, по мнению авторитетных специалистов [Когденко, 2019], меньше подвержены преднамеренным искажениям и вуалированию, чем выручка и другие показатели отчета о финансовых результатах.

Таким образом, получаем формулу расчета потенциальности предприятия (обозначим этот показатель ПЕ) следующего вида:

$$\text{ПЕ} = \frac{\overline{\text{СовА}}}{\text{ПДП}}, \quad (1)$$

где ПДП – положительный денежный поток за период (за год); $\overline{\text{СовА}}$ – среднегодовая величина совокупных активов. Необходимость усреднения связана с требованием сопоставимости данных числителя и знаменателя формулы по признаку охвата времени, а также с тем, что величина активов предприятия может существенно колебаться в течение года, например, в связи с сезонным характером деятельности. Для наиболее объективной оценки величины ресурсного потенциала рекомендуется использовать усреднение совокупных активов по формуле средней хронологической величины на основании внутригодовых, например, помесечных данных. Если используется среднее арифметическое между величиной совокупных активов на начало и на конец года, есть вероятность получить существенную погрешность оценки величины ресурсного потенциала и потенциальности предприятия.

В таблице представлены значения потенциальности ряда предприятий Белгородской области разных отраслей экономики за 2021 год, которые дают представление об уровне и разбросе значений данного показателя.

Уровень потенциальности выборки предприятий Белгородской области в 2021 г.
 The level of potential intensity of a sample of enterprises in the Belgorod region in 2021

Предприятия	Среднегодовая величина совокупных активов, тыс. руб.	Поступления денежных средств за период, тыс. руб.	Потенциально- емкость, руб/руб.
Черная металлургия			
АО «КМА Рудоремонт»	171 843	769 066	0,22
АО «Лебединский ГОК»	280 439 112,5	729 200 439	0,38
АО «Михайловский ГОК»	120 176 425	306 830 158	0,39
АО «Оскольский электрометаллургический комбинат»	79 798 196	182 760 231	0,44
АО «Стойленский ГОК»	149 346 984	304 654 192	0,49
ООО «Яковлевский ГОК»	17 051 236	20 698 563	0,82
Сельское хозяйство			
АО «Приосколье»	28 760 807,5	50 685 908	0,57
АО «Агрофирма «Русь»	874 794	1 202 063	0,73
АО «Агропромышленный комбинат «Бирюченский»	1 279 117,5	1 069 655	1,20
АО «Молочная компания «Зеленая долина»	1 225 384,5	1 019 846	1,20
Производство стройматериалов			
ОАО «БелАЦИ»	748 027	1 556 985	0,48
АО «Белгородстройдеталь»	629 976,5	953 305	0,66
АО «Стройматериалы»	939 977	1 115 728	0,84
АО «Борисовский завод мостовых металлоконструкций»	5 777 261,5	6 266 464	0,92
АО «Завод ЖБК-1»	3 551 877,5	2 193 254	1,62
ЗАО «Белгородский цемент»	2 939 739	1 190 486	2,47
Пищевая промышленность			
ЗАО «Томаровский мясокомбинат»	135 321	919 845	0,15
АО «Кондитерская фабрика «Белогорье»	1 044 403	2 586 212	0,40
АО «Белгородский молочный комбинат»	3 382 036,5	8 080 287	0,42
АО «Белгородский хладокомбинат»	904 000,5	1 480 647	0,61
ОАО «Колос»	1 551 941,5	2 238 699	0,69
Другие отрасли обрабатывающей промышленности			
ОАО «Белгородский экспериментальный завод рыбных комбикормов»	6 110 733,5	15 815 820	0,39
ОАО «Белгородский абразивный завод»	1 637 856,5	3 527 417	0,46
АО «Старооскольский завод автотракторного электрооборудования»	2 173 849,5	4 161 541	0,52
АО «Оскольский завод металлургического машиностроения»	2 645 214	2 666 661	0,99

Составлено авторами по финансовой отчетности предприятий из [Audit-it.ru, 2023] и по расчетам авторов

Заметим, что приведенные в таблице расчеты проводились на основе данных годовой бухгалтерской финансовой отчетности предприятий, так что усреднение совокупных активов проводилось способом средней арифметической.

В зависимости от целей функционирования хозяйствующего субъекта на исследуемом этапе деятельности, в качестве результативных в расчете потенциальности могут выступать вместо положительного денежного потока и другие показатели, например, та же сумма выручки [Doroshenko et al., 2020], величина собственного капитала по данным бухгалтерского баланса или величина рыночной капитализации компании [Doroshenko et al., 2021].

Потенциальность предприятия, как и другие обратные показатели эффективности, является, по своей сути, фактором, изменение которого влияет на уровень эффективности. Управленческие решения по оптимизации уровня потенциальности сводятся к его минимизации, что приводит к росту эффективности деятельности хозяйствующего субъекта и повышению его экономической безопасности [Чижова, Стрябкова, 2018; Бондаренко, Стрябкова, 2022.; Стрябкова и др., 2023.].

Потенциальность предприятия является интегральным показателем в силу интегрального характера и самого потенциала, и результатов его использования. Свойство интегральности является следствием системного характера, происходящих на предприятии процессов и взаимодействий между процессами, формирующих определенную структуру хозяйственной деятельности [Slabinskaya, Benderskaya, 2022]. Понимание причинно-следственных связей между элементами этой системы дает возможность выделить управляемые факторы, с помощью которых возможно целенаправленно снижать уровень потенциальности.

Для выделения факторов управления потенциальностью плодотворно использование формального моделирования показателя потенциальности (1). Начальным этапом моделирования является разложение величины ресурсного потенциала на составляющие, которые предлагается выделять в соответствии с логикой построения бухгалтерского баланса и по признаку сходства экономической сущности отдельных его статей: нематериальные активы и результаты исследований и разработок (НА и РИР), поисковые нематериальные и материальные активы (ПА), основные средства (ОС), незавершенные капитальные вложения (КВл), доходные вложения в материальные ценности (ДВл), долгосрочные финансовые вложения (ДФВл), отложенные налоговые активы и НДС по приобретенным ценностям (ОНА и НДС), запасы (З), дебиторская задолженность (ДЗ), краткосрочные финансовые вложения (КрФВл), денежные средства и денежные эквиваленты (ДСрЭ), прочие внеоборотные и оборотные активы (ПрА).

Выделение составляющих потенциала предприятия дает возможность расширить формулу потенциальности и привести ее к виду

$$\begin{aligned} \text{ПЕ} = & \frac{\text{НА и РИР}}{\text{ПДП}} + \frac{\text{ПА}}{\text{ПДП}} + \frac{\text{ОС}}{\text{ПДП}} + \frac{\text{КВл}}{\text{ПДП}} + \frac{\text{ДВл}}{\text{ПДП}} + \frac{\text{ДФВл}}{\text{ПДП}} + \frac{\text{ОНА и НДС}}{\text{ПДП}} + \\ & + \frac{\text{З}}{\text{ПДП}} + \frac{\text{ДЗ}}{\text{ПДП}} + \frac{\text{КрФВл}}{\text{ПДП}} + \frac{\text{ДСрЭ}}{\text{ПДП}} + \frac{\text{ПрА}}{\text{ПДП}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Разложение потенциала на составляющие предложенным способом определяет жестко детерминированный характер формируемой факторной модели. Заметим также, что среднегодовая величина каждой составляющей ресурсного потенциала должна быть рассчитана тем же способом, что и среднегодовая величина всего потенциала.

Выражение (2) отражает аддитивный характер формирования потенциальности хозяйствующего субъекта – она складывается из потенциальности отдельных составляющих потенциала. Уровень потенциальности разных видов активов отличается в силу различия их природы, характера и уровня использования. Чем ниже потенциальность каждой составляющей потенциала, тем оптимальнее уровень общей потенциальности предприятия.

Дальнейшее преобразование формулы (2) проводится с целью выделения факторов, определяющих уровень потенциальности отдельных элементов ресурсного потенциала. Необходимо выделить наполненные экономическим смыслом факторы и их соотношения, отражающие целевые функционалы принятия управленческих решений по оптимизации уровня потенциальности.

Рассмотрим порядок преобразования каждого из 12 слагаемых (2). При этом будем ориентироваться на использование показателей бухгалтерской финансовой отчетности предприятия, подразумевая, что для получения исходных данных для принятия управленческих решений специалисты могут настроить систему бухгалтерского учета предприятия на получение внутригодовых данных об объемах составляющих ресурсного потенциала.

$\frac{\overline{\text{НА и РИР}}}{\text{ПДП}}$ – потенциальность нематериальных активов, результатов исследований и разработок; показатель характеризует объем НА и РИР (сумма статей 1110, 1120 баланса), приходящийся на 1 рубль денежных поступлений предприятия.

Для выделения факторов тождественно преобразуем это выражение, домножив и разделив его на чистую прибыль (убыток) (Пр) из отчета о финансовых результатах (статья 2400), а затем перегруппируем показатели. Получим

$$\frac{\overline{\text{НА и РИР}}}{\text{ПДП}} = \frac{\overline{\text{НА и РИР}}}{\text{ПДП}} \times \frac{\text{Пр}}{\text{Пр}} = \frac{\text{Пр}}{\text{ПДП}} \times \frac{\overline{\text{НА и РИР}}}{\text{Пр}} = \frac{\text{Пр}}{\text{ПДП}} \times \frac{1}{\frac{\text{Пр}}{\overline{\text{НА и РИР}}}} = \frac{R_{\text{ПДП}}}{R_{\text{НА и РИР}}}, \quad (3)$$

где $R_{\text{ПДП}}$ – рентабельность ПДП, а именно – величина чистой прибыли (убытка) с каждого рубля денежных поступлений; $R_{\text{НА и РИР}}$ – рентабельность нематериальных активов и результатов исследований и разработок, также оцененная по чистой прибыли (убытку) с каждого рубля их стоимости. Показатель $R_{\text{НА и РИР}}$ характеризует окупаемость создания (приобретения) нематериальных активов, проведения исследований и разработок [Doroshenko and al., 2020]. В выводе модели (3) показатели рентабельности представлены в виде коэффициентов, но их можно выразить и в процентах.

Выражение (3) определяет, что для минимизации вклада НА и РИР в общую потенциальность необходимо обеспечивать превышение уровня окупаемости нематериальных активов и результатов исследований и разработок над уровнем рентабельности денежных поступлений. В динамике желателен опережающий рост $R_{\text{НА и РИР}}$ относительно $R_{\text{ПДП}}$.

$\frac{\overline{\text{ПА}}}{\text{ПДП}}$ – потенциальность нематериальных и материальных поисковых активов; их объем (сумма статей 1130, 1140 баланса), приходящийся на 1 рубль поступлений денежных средств.

Для преобразования этого соотношения используем длительность хозяйственного года (обозначим ее Т). Домножив и разделив на Т потенциальность поисковых активов, получим

$$\frac{\overline{\text{ПА}}}{\text{ПДП}} = \frac{\overline{\text{ПА}}}{\text{ПДП}} \times \frac{T}{T} = \frac{\overline{\text{ПА}} \times T}{\text{ПДП}} \times \frac{1}{T} = \frac{\text{Пр}_1 \text{ оборота}_{\text{ПА}}}{T}, \quad (4)$$

где $\text{Пр}_1 \text{ оборота}_{\text{ПА}}$ – продолжительность одного оборота поисковых активов, то есть период времени, за который поиск и разведка полезных ископаемых дадут результат. В данном случае положительный денежный поток выступает в качестве критерия величины оборота средств предприятия. Деление $\text{Пр}_1 \text{ оборота}_{\text{ПА}}$ на Т переводит период оборота из абсолютных значений в доли года.

Соотношение (4) показывает, что потенциальность поисковых активов определяется скоростью их оборота, и ее снижение достигается сокращением сроков поиска и разведки новых месторождений.

$$\frac{\overline{\text{ОС}}}{\text{ПДП}} - \quad (5)$$

потенциалоемкость основных средств; показатель, аналогичный фондоемкости. Обратный ему показатель можно назвать фондоотдачей (ФО), где под отдачей от использования основных средств подразумевается положительный денежный поток. Преобразовав (5) к виду

$$\frac{\overline{ОС}}{ПДП} = \frac{1}{\frac{ПДП}{\overline{ОС}}} = \frac{1}{ФО}, \quad (6)$$

получим основу для принятия управленческих решений: для оптимизации общей потенциалоемкости предприятия нужно наращивать уровень отдачи основных средств.

$\frac{\overline{КВл}}{ПДП}$ – потенциалоемкость капитальных вложений. Для преобразования ее формулы расчета в факторную модель, как и для потенциалоемкости поисковых активов, используем длительность года T . Получим

$$\frac{\overline{КВл}}{ПДП} = \frac{\overline{КВл}}{ПДП} \times \frac{T}{T} = \frac{\overline{КВл} \times T}{ПДП} \times \frac{1}{T} = \frac{Пр_1 \text{ оборота}_{КВл}}{T}, \quad (7)$$

то есть потенциалоемкость капитальных вложений определяется продолжительностью одного их оборота, выраженной в долях года. Соответственно, управленческие решения по снижению потенциалоемкости должны быть направлены на сокращение сроков освоения капитальных вложений.

Нужно заметить, что в бухгалтерском балансе незавершенные капитальные вложения не выделяются в отдельную статью. Они отражаются либо в составе основных средств (статья 1150), либо в составе прочих внеоборотных активов (статья 1190). Однако роль в хозяйственной деятельности и критерии оценки эффективности основных средств и капитальных вложений различны, а вклад капитальных вложений в ресурсный потенциал предприятий, особенно развивающихся, может быть весьма значительным, поэтому считаем необходимым выделять потенциалоемкость основных средств и капитальных вложений в отдельные составляющие.

Величина капитальных вложений определяется по данным таблицы 2.2 пояснений к бухгалтерскому балансу (статья «Незавершенное строительство и незаконченные операции по приобретению, модернизации и т.п. основных средств – всего»). Величина основных средств определяется по данным таблицы 2.1 тех же пояснений (статья «Основные средства (без учета доходных вложений в материальные ценности) – всего»). Для сопоставимости величины основных средств с другими составляющими ресурсного потенциала предприятия, рассчитываемыми по балансовым данным, следует использовать балансовую стоимость основных средств, которая определяется как разность первоначальной их стоимости и накопленной амортизации на одну и ту же дату (соответствующие колонки данных в таблице 2.1).

$\frac{\overline{ДВл}}{ПДП}$ – потенциалоемкость доходных вложений в материальные ценности. Объем доходных вложений отражается по статье 1160 бухгалтерского баланса. Для получения факторной зависимости используем величину доходов от этих вложений из отчета о движении денежных средств (обозначим их $Д_{ДВл}$). Эти доходы, в зависимости от вида доходных вложений, могут отражаться по статьям 4112 «Поступления арендных платежей, лицензионных платежей, роялти, комиссионных и иных аналогичных платежей» и 4211 «Поступления от продажи внеоборотных активов (кроме финансовых вложений)». Домножив и разделив потенциалоемкость доходных вложений на $Д_{ДВл}$ и на 100, получим

$$\frac{\overline{ДВл}}{ПДП} = \frac{\overline{ДВл}}{ПДП} \times \frac{Д_{ДВл}}{Д_{ДВл}} \times \frac{100}{100} = \frac{Д_{ДВл}}{ПДП} 100 \frac{1}{\frac{Д_{ДВл}}{Д_{ДВл}} 100} = \frac{Уд.вес \ Д_{ДВл}}{Д-ть_{ДВл}}, \quad (8)$$

где Уд. вес $D_{ДВл}$ – удельный вес доходов от использования доходных вложений в материальные ценности в общей сумме денежных поступлений предприятия (в процентах); $D - т_{ДВл}$ – доходность этих вложений в процентах годовых.

Минимизация потенциальности доходных вложений достигается за счет повышения их доходности, а удельный вес доходов определяет вклад данной составляющей в общую потенциальность предприятия. Чем он больше, тем большее внимание должно уделяться обеспечению высокой доходности.

$\frac{ДФВл}{ПДП}$ и $\frac{КрФВл}{ПДП}$ – потенциальность долгосрочных и краткосрочных финансовых вложений. Их объем определяется, соответственно, по данным статей 1170 и 1240 бухгалтерского баланса. Эти составляющие общей потенциальности имеют одинаковую природу, но существуют некоторые различия в характере их использования. Краткосрочные финансовые вложения в основном приобретаются в надежде на выгодную перепродажу и на получение доходов в виде дисконта при погашении. Долгосрочные финансовые вложения приносят предприятию-владельцу экономические выгоды, в первую очередь, в виде доходов от участия в других организациях, в виде контроля над этими организациями, в виде процентов и дивидендов; однако доходы от перепродажи и погашения также не исключаются. Поэтому предлагаем формировать для долго- и краткосрочных финансовых вложений аналогичные факторные модели с учетом их различий. Для выделения управляющих факторов используем величину доходов от финансовых вложений из отчета о движении денежных средств, где они отражаются в составе сумм по статьям 4113 «Поступления от перепродажи финансовых вложений», 4212 «Поступления от продажи акций других организаций (долей участия)», 4213 «Поступления от возврата предоставленных займов, от продажи долговых ценных бумаг (прав требования денежных средств к другим лицам)» и 4214 «Поступления дивидендов, процентов по долговым финансовым вложениям и аналогичных поступлений от долевого участия в других организациях». Естественно, для выделения из данных по этим статьям доходов именно от долго- или краткосрочных финансовых вложений ($Д_{ДФВл}$, $Д_{КрФВл}$) нужны сведения аналитического учета финансовых вложений.

Применив преобразование, аналогичное проведенному для предыдущего слагаемого, получим

$$\frac{ДФВл}{ПДП} = \frac{ДФВл}{ПДП} \times \frac{Д_{ДФВл}}{Д_{ДФВл}} \times \frac{100}{100} = \frac{Д_{ДФВл}}{ПДП} 100 \frac{1}{\frac{Д_{ДФВл}}{Д_{ДФВл}} 100} = \frac{Уд.вес Д_{ДФВл}}{Д - т_{ДФВл}}, \quad (9)$$

$$\frac{КрФВл}{ПДП} = \frac{Уд.вес Д_{КрФВл}}{Д - т_{КрФВл}}, \quad (10)$$

где Уд. вес $Д_{ДФВл}$, Уд. вес $Д_{КрФВл}$ – удельный вес доходов, соответственно, от долго- и краткосрочных финансовых вложений в общей сумме денежных поступлений предприятия; $D - т_{ДФВл}$, $D - т_{КрФВл}$ – доходность этих вложений в процентах годовых.

Выделенные факторы определяют приоритетность управления потенциальностью финансовых вложений в зависимости от удельного веса доходов от них в общей сумме ПДП. Снижение потенциальности достигается за счет повышения доходности вложений.

$\frac{ОНА и НДС}{ПДП}$ – потенциальность отложенных налоговых активов (статья 1180 баланса) и налога на добавленную стоимость по приобретенным ценностям (статья 1220) характеризует их величину, приходящуюся на каждый рубль денежных поступлений за период. Данные активы объединены в силу единства их природы. Их наличие в балансе означает снижение налоговых выплат предприятия в будущих периодах. В соответствии с этим, имеет смысл выделить зависимость потенциальности ОНА и НДС от продолжительности их оборота ($Пр_1$ оборота $ОНА и НДС$):

$$\frac{\overline{\text{ОНА и НДС}}}{\text{ПДП}} = \frac{\overline{\text{ОНА и НДС}}}{\text{ПДП}} \times \frac{T}{T} = \frac{\overline{\text{ОНА и НДС}} \times T}{\text{ПДП}} \times \frac{1}{T} = \frac{\text{Пр}_1 \text{ оборота}_{\text{ОНА и НДС}}}{T}. \quad (11)$$

Согласно (11), вклад ОНА и НДС в потенциальность предприятия определяется скоростью их оборота. Чем скорость выше (а продолжительность оборота, соответственно, меньше), тем лучше. Нужно отметить, что данные факторы не являются управляемыми для руководства и собственников предприятия, но они должны учитывать их при принятии управленческих решений.

$\frac{\bar{З}}{\text{ПДП}}$ – потенциальность запасов, которые отражаются в статье 1210 баланса, имеет смысл преобразовать в факторную модель аналогично тому, как это было сделано для капитальных вложений. Получим

$$\frac{\bar{З}}{\text{ПДП}} = \frac{\text{Пр}_1 \text{ оборота}_З}{T} - \quad (12)$$

факторная модель, которая определяет прямую зависимость потенциальности запасов от продолжительности их оборота (выраженной в долях года). Длительность цикла оборота запасов – это время от поступления на предприятие сырья, материалов и других производственных запасов до продажи готовой продукции, включая процесс ее производства. Управленческие решения по снижению потенциальности должны быть направлены на сокращение периода хранения и подготовки производственных запасов и на сокращение длительности цикла производства, а также на ускорение сбыта и отгрузки продукции.

$\frac{\bar{ДЗ}}{\text{ПДП}}$ – потенциальность дебиторской задолженности (ее величина – статья 1230 баланса) характеризует среднюю величину долгов дебиторов, приходящуюся на каждый рубль денежных поступлений предприятия.

По аналогии с (11), формулу расчета потенциальности преобразуем в модель вида

$$\frac{\bar{ДЗ}}{\text{ПДП}} = \frac{\text{Пр}_1 \text{ оборота}_{\bar{ДЗ}}}{T}, \quad (13)$$

где продолжительность одного оборота дебиторской задолженности представляет собой средние сроки ее погашения (в данном случае – в долях года). Резервом сокращения потенциальности, соответственно, является сокращение сроков оплаты счетов дебиторами.

$\frac{\bar{ДСрЭ}}{\text{ПДП}}$ – потенциальность денежных средств и денежных эквивалентов (статья 1250 баланса) характеризует их величину на счетах и в кассе предприятия, приходящуюся на каждый рубль денежных поступлений.

По уже отработанной схеме преобразования приведем формулу расчета к факторной модели вида

$$\frac{\bar{ДСрЭ}}{\text{ПДП}} = \frac{\text{Пр}_1 \text{ оборота}_{\bar{ДСрЭ}}}{T}, \quad (14)$$

где продолжительность оборота денежных средств и их эквивалентов – это срок их нахождения на счетах и в кассе предприятия. Таким образом, управленческие решения по оптимизации потенциальности должны быть направлены на то, чтобы не допускать «пролеживания» этих средств, а максимально быстро вкладывать их в основную, финансовую или инвестиционную деятельность.

$\frac{\bar{\text{ПрА}}}{\text{ПДП}}$ – потенциальность прочих оборотных и внеоборотных активов. Здесь величина прочих оборотных активов определяется из данных по статье 1260, а прочих внеоборотных – из данных по статье 1190, за исключением стоимости незавершенных капитальных вложений, если предприятие отражает их в этой статье. В зависимости от того, какие

активы числятся у предприятия в составе прочих, к их потенциальности может быть применено одно из преобразований, приведенных выше. Воспользуемся способом, который был использован для получения модели (3):

$$\frac{\overline{\text{ПрА}}}{\text{ПДП}} = \frac{\overline{\text{ПрА}}}{\text{ПДП}} \times \frac{\text{Пр}}{\text{Пр}} = \frac{\text{Пр}}{\text{ПДП}} \times \frac{\overline{\text{ПрА}}}{\text{Пр}} = \frac{\text{Пр}}{\text{ПДП}} \times \frac{1}{\frac{\text{Пр}}{\overline{\text{ПрА}}}} = \frac{R_{\text{ПДП}}}{R_{\text{ПрА}}}. \quad (15)$$

Данная факторная модель определяет, что для снижения потенциальности прочих активов управление ими должно обеспечивать превышение их окупаемости над рентабельностью денежных поступлений.

Заключение

В ходе исследования получены следующие результаты:

- конкретизировано определение потенциальности хозяйствующего субъекта (предприятия) как уровня его потребности в ресурсах для достижения целевых результатов своего функционирования;
- сформирован показатель количественной оценки потенциальности, представляющий собой отношение величины совокупных активов предприятия к сумме денежных поступлений за период;
- актуализирована детерминированная факторная модель потенциальности предприятия, включающая семнадцать факторов (пятнадцать из них – управляемые).

Факторная модель отражает зависимость уровня потенциальности от рентабельности денежных поступлений, отдачи основных средств, удельного веса, окупаемости, доходности или скорости оборота отдельных элементов ресурсного потенциала предприятия. Модель отражает влияние уровня использования каждого вида активов на эффективность хозяйственной деятельности и позволяет:

- количественно оценивать их вклад в потенциальность предприятия;
- выделять приоритетные направления управления ресурсным потенциалом в целях минимизации общей потенциальности;
- выявлять и измерять резервы сокращения общей потенциальности за счет каждого элемента ресурсного потенциала;
- разрабатывать управленческие решения по освоению этих резервов [Stryabkova et al., 2021];
- прогнозировать и оптимизировать уровень потенциальности на этапе планирования.

Список источников

Сергеев И.В., Веретенникова И.И. 2019. Экономика организации (предприятия): учебник и практикум. М., Юрайт, 511 с.
Audit-it.ru: сайт. URL: <https://www.audit-it.ru/> (дата обращения 2 апреля 2023).

Список литературы

Бендерская О.Б., Чижова Е.Н. 2004. Модель потенциальности предприятия. Организатор производства, 1(20): 20-23.
Бендерская О.Б., Чижова Е.Н. 2005. Потенциальность как показатель эффективности деятельности предприятия. Вестник Белгородского университета потребительской кооперации, 1(10): 193-196.
Бендерская О.Б., Чижова Е.Н. 2005. Устойчивость организации и механизм ее обеспечения. СПб., Химиздат, 243 с.
Бондаренко Е.В., Стрябкова Е.А. 2022. Риск-менеджмент как основа обеспечения экономической безопасности предприятия. Экономическая безопасность социально-экономических систем:

- вызовы и возможности. Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. Белгород, Эпицентр: 195-199.
- Грабовый П.Г., Гребенщиков В.С. 2017. Оценка потенциальности производственной строительной системы при реализации крупных инвестиционных проектов. Недвижимость: экономика, управление, 2: 76-81.
- Данилкин И.А. 2016. Некоторые научные аспекты управления потенциальностью производственной системы предприятий стройиндустрии и составляющих ее интеграций в условиях экономических отношений рыночного типа. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, 9: 221-226.
- Догиль Л.Ф., Макар И.Н., Беликов С.Н. 2014. Мониторинг финансовой устойчивости и эффективности использования производственного потенциала крупнотоварных аграрных предприятий. Экономика, моделирование, прогнозирование, 8: 50-57.
- Когденко В.Г. 2019. Развитие методики отраслевого анализа на основе Гарвардской парадигмы. Экономический анализ: теория и практика, т. 18, 10(493): 1847-1880.
- Смирнов В.В., Осипов Д.Г. 2016. Теоретические положения эффективного использования промышленно-производственного потенциала. Экономика и предпринимательство, т. 10, 3(75): 414-422.
- Стрябова Е.А., Кулик А.М., Герасимова Н.А., Тебекин М.В. 2023. К вопросу о факторах, определяющих типологию пространственной поляризации регионов. АПК: экономика, управление, 2: 13-23. DOI 10.33305/231-13.
- Цапко К.А., Алфатлави Хассанин Абд Али. 2019. К вопросу о принципах определения производственной мощности строительных организаций в современных условиях. Вестник Евразийской науки, 6(11). URL: <https://esj.today/PDF/85SAVN619.pdf> (дата обращения 2 апреля 2023).
- Чинова Е.Н., Стрябова Е.А. 2018. Экономическая безопасность Белгородской области: угрозы и возможности. Экономическая безопасность социально-экономических систем: вызовы и возможности. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. Белгород, НИУ БелГУ: 12-16.
- Якобсон З.В., Сайфуллин Р.Р. 2016. Факторное влияние на экономическую оценку продуктивности производственной мощности предприятия. Управление организацией, бухгалтерский учет и экономический анализ: вопросы, проблемы и перспективы развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Магнитогорск, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова: 117-120.
- Avilova I.P., Naumov A.E., Thuong Le.V. [et al.]. 2020. Construction management and real estate development. Stockholm: ASV Construction, 608 p.
- Avilova I.P., Naumov A.E., Ursu I.V., Abakumov R.G. 2019. Methodology for assessment of repair and restoring potential of real estate. IOP Conference series: Materials science and engineering: International scientific conference «Construction and architecture: theory and practice of innovative development». Kislovodsk, Institute of physics publishing, v. 698, 7: 077051. DOI 10.1088/1757-899X/698/7/077051.
- Doroshenko Y.A., Minaeva L.A., Somina I.V., Glagoleva N.N. 2020. Mechanism of stimulate the growth of highly competitive technology business. Lecture notes in networks and systems, v. 128: 906-915. DOI 10.1007/978-3-030-46817-0_102.
- Grabovyy P.G., Zhikharev D.F. 2022. The productivity of an industrial housing construction enterprise as the main indicator of the potential intensity growth of the production and construction system. Real Estate: Economics, Management, 2: 11-17.
- Doroshenko Y.A., Starikova M.S., Riapukhina V.N. 2021. Models of regional development in Russia: level of industrialization and innovative performance. Engineering economics, v. 32, 3: 247-257. DOI 10.5755/j01.ee.32.3.25897.
- Slabinskaya I.A., Benderskaya O.B. 2022. Systems of indicators for a comprehensive assessment of the stability of the functioning of enterprises in the construction and transport industry. Networked control systems for connected and automated vehicles. Conference proceedings. Switzerland, Springer Nature Switzerland AG, v. 510-2: 597-603. DOI 10.1007/978-3-031-11051-1_60.
- Stryabkova E.A., Vladyka M.V., Lyshchikova J.V. [et al.]. 2021. Smart specialization as a comprehensive territorial and sectoral approach to determining regional development priorities. Journal of environmental management and tourism, v. 12, 5(53): 1353-1370. DOI 10.14505/jemt.v12.5(53).20.

References

- Benderskaya O.B., Chizhova E.N. 2004. Model' potentsialoyemkosti predpriyatiya [Enterprise capacity model]. *Organizator proizvodstva*, 1(20): 20-23.
- Benderskaya O.B., Chizhova E.N. 2005. Potentsialoyemkost' kak pokazatel' effektivnosti deyatel'nosti predpriyatiya [Potential intensity as an indicator of the effectiveness of the enterprise]. *Vestnik Belgorodskogo universiteta potrebitel'skoy kooperatsii*, 1(10): 193-196.
- Benderskaya O.B., Chizhova E.N. 2005. Ustoychivost' organizatsii i mekhanizm yeye obespecheniya [The stability of the organization and the mechanism for its provision]. SPb., Khimizdat, 243 p.
- Bondarenko E.V., Stryabkova E.A. 2022. Risk-menedzhment kak osnova obespecheniya ekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatiya. *Ekonomicheskaya bezopasnost' sotsial'no-ekonomicheskikh sistem: vyzovy i vozmozhnosti* [Risk management as a basis for ensuring the economic security of an enterprise. Economic security of socio-economic systems: challenges and opportunities]. Collection of proceedings of the IV International scientific and practical conference. Belgorod, Epitsentr: 195-199.
- Grabovyy P.G., Grebenshchikov V.S. 2017. Assessing the potential of a construction system for the delivery of large investment projects. *Real estate: economics, management*, 2: 76-81.
- Danilkin I.A. 2016. Some scientific aspects of management of a potential capacity of a production system of the entities of building industry and the integration constituting it in the conditions of the economic relations of market type. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 9: 221-226.
- Dogil' L.F., Makar I.N., Belikov S.N. 2014. Monitoring finansovoy ustoychivosti i effektivnosti ispol'zovaniya proizvodstvennogo potentsiala krupnotovarnykh agrarnykh predpriyatiy [Monitoring the financial stability and efficiency of using the production potential of large-scale agricultural enterprises]. *Ekonomika, modelirovaniye, prognozirovaniye*, 8: 50-57.
- Kogdenko V.G. 2019. Improving the methodology for industry analysis based on the Harvard paradigm. *Economic analysis: theory and practice*, v. 18, 10(493): 1847-1880.
- Smimov V.V., Osipov D.G. 2016. Teoreticheskiye polozheniya effektivnogo ispol'zovaniya promyshlennoproizvodstvennogo potentsiala [Theoretical provisions for the effective use of industrial and production potential]. *Journal of Economy and entrepreneurship*, v. 10, 3(75): 414-422.
- Stryabkova E.A., Kulik A.M., Gerasimova N.A., Tebekin M.V. 2023. K voprosu o faktorakh, opredelyayushchikh tipologiyu prostranstvennoy polyarizatsii regionov [On the issue of the factors that determine the typology of spatial polarization of regions]. *APK: ekonomika, upravleniye*, 2: 13-23. DOI 10.33305/231-13.
- Tsapko K.A., Alfatlavi Hassanin Abd Ali. 2019. On the issue of the principles of defining production capacity of construction organizations in modern conditions. *The Eurasian Scientific Journal* [online], 6(11). Available at: <https://esj.today/PDF/85SAVN619.pdf> (accessed: 2 April 2023).
- Chizhova E.N., Stryabkova E.A. 2018. The economic security of the Belgorod region: threats and opportunities. *Ekonomicheskaya bezopasnost' sotsial'no-ekonomicheskikh sistem: vyzovy i vozmozhnosti* [Economic security of socio-economic systems: challenges and opportunities]. Collection of scientific papers of the international scientific-practical conference. Belgorod, Belgorod national research university: 12-16.
- Yakobson Z.V., Saifullin R.R. 2016. Faktornoye vliyaniye na ekonomicheskuyu otsenku produktivnosti proizvodstvennoy moshchnosti predpriyatiya. *Upravleniye organizatsiyey, bukhgalterskiy uchët i ekonomicheskii analiz: voprosy, problemy i perspektivy razvitiya* [Factor influence on the economic assessment of the productivity of the enterprise's production capacity. Organization management, accounting and economic analysis: issues, problems and development prospects]. Proceedings of the all-Russian scientific and practical conference. Magnitogorsk, Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov: 117-120.
- Avilova I.P., Naumov A.E., Thuong Le.V. [et al.]. 2020. Construction management and real estate development. Stockholm: ASV Construction, 608 p.
- Avilova I.P., Naumov A.E., Ursu I.V., Abakumov R.G. 2019. Methodology for assessment of repair and restoring potential of real estate. *IOP Conference series: Materials science and engineering: International scientific conference «Construction and architecture: theory and practice of innovative development»*. Kislovodsk, Institute of physics publishing, v. 698, 7: 077051. DOI 10.1088/1757-899X/698/7/077051.
- Doroshenko Y.A., Minaeva L.A., Somina I.V., Glagoleva N.N. 2020. Mechanism of stimulate the growth of highly competitive technology business. *Lecture notes in networks and systems*, v. 128: 906-915. DOI 10.1007/978-3-030-46817-0_102.

- Grabovyy P.G., Zhikharev D.F. 2022. The productivity of an industrial housing construction enterprise as the main indicator of the potential intensity growth of the production and construction system. *Real Estate: Economics, Management*, 2: 11-17.
- Doroshenko Y.A., Starikova M.S., Riapukhina V.N. 2021. Models of regional development in Russia: level of industrialization and innovative performance. *Engineering economics*, v. 32, 3: 247-257. DOI 10.5755/j01.ee.32.3.25897.
- Slabinskaya I.A., Benderskaya O.B. 2022. Systems of indicators for a comprehensive assessment of the stability of the functioning of enterprises in the construction and transport industry. *Networked control systems for connected and automated vehicles. Conference proceedings. Switzerland, Springer Nature Switzerland AG*, v. 510-2: 597-603. DOI 10.1007/978-3-031-11051-1_60.
- Stryabkova E.A., Vladyka M.V., Lyshchikova J.V. [et al.]. 2021. Smart specialization as a comprehensive territorial and sectoral approach to determining regional development priorities. *Journal of environmental management and tourism*, v. 12, 5(53): 1353-1370. DOI 10.14505/jemt.v12.5(53).20.

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

Чижова Елена Николаевна, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой теории и методологии науки Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Бендерская Ольга Борисовна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета и аудита Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena N. Chizhova, Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Theory and Methodology of Science, Belgorod State Technological University named after V.G. Schukhov, Belgorod, Russia

Olga B. Benderskaya, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Accounting and Audit, Belgorod State Technological University named after V.G. Schukhov, Belgorod, Russia

ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

FINANCES OF THE STATE AND ENTERPRISES

УДК 336.7

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-326-334

Программа ЭВМ для оценки кредитоспособности корпоративного заёмщика с учетом ESG-факторов

Антонова М.В., Шумков Д.А.

Белгородский университет кооперации, экономики и права,
Россия, 308023, г. Белгород, ул. Садовая, 116а
E-mail: antonovamv@yandex.ru

Аннотация. Актуальным направлением научных исследований в современном мире является изучение ESG-факторов компании, включающих в себя экологические факторы, социальные и управленческие факторы. Научное сообщество уделяет достаточно внимания проблематике исследования ESG-факторов и ESG-критериев в контексте устойчивого развития организации. Однако работ по изучению ESG-факторов в методических аспектах оценки кредитоспособности заемщиков и разработке программных продуктов недостаточно. Целью исследования является характеристика авторской программы ЭВМ для оценки кредитоспособности корпоративного заёмщика с учетом ESG-факторов. Программа ЭВМ основана на авторской методике оценки кредитоспособности корпоративных заемщиков, учитывающей четыре группы критериев оценки кредитоспособности заемщика: критерии оценки финансовых рисков, экологических рисков, социальных рисков, управленческих рисков. В статье рассматривается интерфейс программного продукта, его достоинства и особенности. Исследование имеет практическую значимость: разработанный программный продукт предназначен для кредитных организаций, выдающих кредиты корпоративным заёмщикам. Кроме того, результаты исследования будут использоваться в учебном процессе.

Ключевые слова: программа ЭВМ, кредитоспособность заемщика, ESG-фактор, финансовые риски, экологические риски, социальные риски, управленческие риски.

Для цитирования: Антонова М.В., Шумков Д.А. 2023. Программа ЭВМ для оценки кредитоспособности корпоративного заёмщика с учетом ESG-факторов. Экономика. Информатика, 50(2): 326–334. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-326-334

A Computer Program for Assessing the Creditworthiness of a Corporate Borrower Considering ESG Factors

Marina V. Antonova, Dmitry A. Shumkov

Belgorod University of Cooperation, Economics and Law
116A Sadovaya St, Belgorod, 308023, Russia
E-mail: antonovamv@yandex.ru

Abstract. The current direction of scientific research in the modern world is the study of ESG factors of the company, including environmental factors, social and managerial factors. The scientific community pays enough attention to the problems of studying ESG factors and ESG criteria in the context of sustainable development of the organization. However, there is not enough work on the study of ESG factors in the methodological aspects of assessing the creditworthiness of borrowers and the development of software products. The purpose of the study is to characterize the author's computer program for assessing the creditworthiness of a corporate borrower,

taking into account ESG factors. The computer program is based on the author's methodology for assessing the creditworthiness of corporate borrowers, taking into account four groups of criteria for assessing the creditworthiness of the borrower: criteria for assessing financial risks, environmental risks, social risks, management risks. The article discusses the interface of the software product, its advantages and features. The research has practical significance: the developed software product is intended for credit institutions that issue loans to corporate borrowers. In addition, the results of the study will be used in the educational process.

Keywords: computer program, borrower's creditworthiness, ESG factor, financial risks, environmental risks, social risks, management risks

For citation: Antonova M.V., Shumkov D.A. 2023. A Computer Program for Assessing the Creditworthiness of a Corporate Borrower Considering ESG Factors. Economics. Information technologies, 50(2): 326–334. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-326-334

Введение

Проблема устойчивого развития экономики является одной из актуальных вопросов современной науки. В рамках данного аспекта большое внимание уделено изучению ESG-факторам компаний. Банком России организована рабочая группа по финансированию устойчивого развития. Одним из инструментов финансирования бизнеса является кредитование, при котором любой потенциальный заемщик проходит процедуру оценки кредитоспособности. В практике российских банков оценка кредитоспособности корпоративных заемщиков осуществляется различными методами, но учитывает в первую очередь финансовые показатели организации. Однако для устойчивого развития экономики оценка кредитоспособности заемщика должна оцениваться с учетом ESG-факторов.

Отметим, что данная проблема активно изучается в научном сообществе.

Проблемы устойчивого развития организации раскрываются в научных трудах [Гузей, 2022; Ефимова, 2021; Скирко, Зубова, Волкова, 2022; Смирнова, Уварова, 2022].

Ученые исследуют различные термины по данной проблематике: ESG-трансформация компаний [Афанасьев, Шаш, 2022; Марголин, Вякина, 2022], ESG-критерии [Вострикова, 2020], ESG-координаты [Захматов, 2022], ESG-актив, ESG-обязательство и ESG-капитал [Нестерова, 2022; Покровская, Молодкова, Снисаренко, Онуфриева, 2022], ESG-инвестирование [Стоцкая, Муратов, 2020].

Изучению ESG-факторов посвящены научные работы [Белик, Дуцинин, Никулина, 2022; Беляева, Козлова, Данилова, 2021; Галазова, 2018; Замятина, Тишков, 2022; Камалова, Тайбова, 2022; Шемякина, 2021].

Однако в научном сообществе работы в основном посвящены проблемам инвестирования при финансировании устойчивого развития, но оценке кредитоспособности заемщика с учетом ESG-факторов уделяется, по нашему мнению, недостаточное внимание.

Авторами в ранее опубликованных работах представлена методика оценки ESG-критериев в рамках оценки индивидуальных рисков организации [Антонова, Шумков, 2022a, 2022b]. В связи с цифровизацией экономики и использовании программных продуктов при оценке кредитоспособности заемщиков авторами разработана программа ЭВМ для оценки кредитоспособности заемщика с учетом ESG-факторов.

Целью исследования является характеристика авторской программы ЭВМ для оценки кредитоспособности корпоративного заемщика с учетом ESG-факторов.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступают методы оценки кредитоспособности заемщика и ESG-факторы как элементы данной оценки при определении рейтинга корпоративного заемщика.

Программный продукт разработан с применением языка программирования typescript при использовании react (JavaScript-библиотека с открытым исходным кодом для разработки пользовательских интерфейсов).

Методы исследования выбраны разработчиками, так как совместное использование typescript и react увеличивает производительность программного продукта. Данную программу можно будет открыть на любом компьютере, так как приложение запускается из браузера.

Результаты и их обсуждение

Программа ЭВМ основана на авторской методике оценки кредитоспособности корпоративных заемщиков, учитывающей ESG-факторы [Антонова, Шумков, 2022b]. Авторами были выделены основные критерии, учитывающие ESG-риски предприятия (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Характеристика критериев оценки кредитоспособности
корпоративного заёмщика с учетом ESG-факторов (Составлено авторами)
Characteristics of criteria for assessing the creditworthiness
of a corporate borrower, taking into account ESG factors

Название группы критериев	Условное обозначение	Критерии
Критерии оценки финансовых рисков	f1	Коэффициент абсолютной ликвидности Коэффициент быстрой ликвидности Коэффициент текущей (общей) ликвидности Коэффициент автономии Оборачиваемость оборотных активов Рентабельность активов
Критерии оценки экологических рисков	f2	Индекс величины потребления энергетических ресурсов компании Индекс доли потребления энергетических ресурсов компании в себестоимости Индекс объема инвестиций на охрану окружающей среды Индекс объема расходов на содержание и эксплуатацию основных фондов природоохранного назначения Индекс объема расходов на сохранение/ восстановление качества природной среды Индекс доли отходов отправленных на переработку Индекс объема выбросов в атмосферу Индекс доли использования энергосберегающих технологий
Критерии оценки социальных рисков	f3	Индекс численности работников Индекс текучести кадров работников Индекс среднемесячной заработной платы работников Индекс премий и прочих выплат работникам Индекс производственного травматизма Индекс уровня профессиональных заболеваний Индекс среднего количества часов на обучение одного сотрудника Индекс расходов компании на обучение сотрудников Индекс доли женщин на руководящих постах в компании Индекс создания новых рабочих мест Индекс уплаты налогов Индекс объема штрафов за несоблюдение законодательства Индекс объема закупок на местном рынке
Критерии оценки управленческих рисков	f4	Уровень менеджмента Срок функционирования организации Причастность организации к судебным процессам Качество кредитной истории организации

Программа содержит поля для заполнения данных о компании, отвечающим за идентификацию потенциального заемщика (рис. 1, 2).

The form contains the following fields:

- Организация полное название
- Организация сокращенное название
- ИНН
- КПП
- ОКПО
- Адрес
- Дата регистрации

Buttons: Очистить данные, Оценить

Рис. 1. Незаполненная форма поля для заполнения данных о потенциальном заемщике
(составлено авторами)

Fig. 1. Blank form of the field for filling in data about a potential borrower
(compiled by the authors)

The form is filled with the following data:

- Организация полное название: "Магнит", ПАО
- Организация сокращенное название:
- ИНН: 2309085638
- КПП:
- ОКПО: 70771130
- Адрес: 350072.Краснодарский кр., г. Красн
- Дата регистрации: 01.01.1994

Buttons: Очистить данные, Оценить

Рис. 2. Заполненная форма поля для заполнения данных о потенциальном заемщике
(составлено авторами)

Fig. 2. The completed form of the field for filling in data about a potential borrower
(compiled by the authors)

Отметим, что введенные идентификационные данные о потенциальном заемщике отображаются при вводе параметров для оценки всех критериев (рис. 3, 4, 5, 6).

The form displays the following criteria and values:

- Организация полное название: "Магнит", ПАО
- Организация сокращенное название:
- ИНН: 2309085638
- КПП:
- ОКПО: 70771130
- Адрес: 350072.Краснодарский кр., г. Красн
- Дата регистрации: 01.01.1994

Buttons: Очистить данные, Оценить

F1 – Критерии оценки финансовых рисков

- Коэффициент абсолютной (быстрой) ликвидности
- Денежные средства: 0
- Краткосрочные финансовые вложения: 0
- Краткосрочные обязательства: 0

Buttons: Следующий шаг

Рис. 3. Расчет критериев оценки финансовых рисков потенциального заёмщика
(составлено авторами)

Fig. 3. Calculation of criteria for assessing the financial risks of a potential borrower
(compiled by the authors)

Критерии оценки финансовых рисков определяются по данным бухгалтерской отчётности организации, которые пользователь вводит в отведенные поля программы. Программой предусмотрены удобные для пользователя кнопки, позволяющие как перейти на следующий этап (кнопка «Следующий шаг»), так и вернуться к ранее введенным данным для исправления или проверки правильности ввода (кнопка «Предыдущий шаг») (рис. 4, 5, 6).

Рис. 4. Расчет критериев оценки экологических рисков потенциального заемщика
(составлено авторами)

Fig. 4. Calculation of criteria for assessing the environmental risks of a potential borrower
(compiled by the authors)

Для оценки критериев экологического и социального рисков компании в программу вводится значение критериев индексов, алгоритм расчета которых представлен в ранних публикациях авторов [Антонова, Шумков, 2022а, 2022b].

Рис. 5. Расчет критериев оценки социальных рисков потенциального заемщика
(составлено авторами)

Fig. 5. Calculation of criteria for assessing social risks of a potential borrower
(compiled by the authors)

Для оценки управленческих рисков предприятия используется диверсифицированный подход к каждому критерию, при котором экспертом выбирается один из предложенных вариантов. Например, уровень менеджмента организации может быть высоким, достаточным и низким.

Организация полное название: "Магнит", ПАО

Организация сокращенное название:

ИНН: 2309085638

КПП:

ОКПО: 70771130

Адрес: 350072.Краснодарский кр., г. Красн

Дата регистрации: 01.01.1994

Очистить данные

Оценить

F4 – Критерии оценки управленческих рисков

Уровень менеджмента

☒ Высокий

☐ Достаточный

☐ Низкий

Предыдущий шаг

Следующий шаг

Рис. 6. Расчет критериев оценки управленческих рисков потенциального заемщика (составлено авторами)

Fig. 6. Calculation of criteria for assessing the management risks of a potential borrower (compiled by the authors)

Разработанной программой предусмотрено окно «Результаты расчета критериев для оценки кредитоспособности корпоративного заёмщика с учетом ESG-факторов» (рис. 7), в котором отражаются суммы набранных баллов по каждой группе критериев, позволяющей наглядно оценить уровень финансовых и ESG-рисков организации.

F1 – Критерии оценки финансовых рисков. Итого за группу: 0

F2 – Критерии оценки экологических рисков. Итого за группу: 8

F3 – Критерии оценки социальных рисков. Итого за группу: 13

F4 – Критерии оценки управленческих рисков. Итого за группу: -4

Назад к оцениванию

Индекс текучести кадров работников. Значение критерия: 0

Индекс численности работников. Итого: 1

Индекс текучести кадров работников. Итого: 1

Индекс среднемесячной заработной платы работников. Итого: 1

Индекс премий и прочих выплат работникам. Итого: 1

Индекс производственного травматизма. Итого: 1

Индекс уровня профессиональных заболеваний. Итого: 1

Индекс среднего количества часов на обучение одного сотрудника. Итого: 1

Индекс расходов компании на обучение сотрудников. Итого: 1

Индекс доли женщин на руководящих постах в компании. Итого: 1

Индекс создания новых рабочих мест. Итого: 1

Индекс уплаты налогов. Итого: 1

Индекс объема штрафов за несоблюдение законодательства. Итого: 1

Индекс объема закупок на местном рынке. Итого: 1

Посмотреть рекомендации

Рис. 7. Результаты расчета критериев для оценки кредитоспособности корпоративного заёмщика с учетом ESG-факторов (составлено авторами)

Fig. 7. Results of calculation of criteria for assessing the creditworthiness of a corporate borrower taking into account ESG factors (compiled by the authors)

На последнем этапе программа выдает результаты оценки кредитоспособности корпоративного заёмщика с учетом ESG-факторов по рекомендуемой авторами шкале оценки (рис. 8).

Класс организации	Количество баллов	Уровень индивидуальных рисков
1 класс	251-366	Низкий
2 класс	131-250	Средний
3 класс	менее 130	Высокий

Рис. 8. Определение класса кредитоспособности заемщика корпоративного заёмщика с учетом ESG-факторов (составлено авторами)

Fig. 8. Determination of the borrower's creditworthiness class of a corporate borrower taking into account ESG factors (compiled by the authors)

Достоинствами разработанной программы ЭВМ, по мнению авторов, являются:

- программа проста в эксплуатации, не зависит от вида компьютера, запускается и работает без браузера (т.е. нет необходимости в сети Интернет, программа может быть использована на автономном не подключенном к сети компьютере);
- программа автоматически определяет рейтинг кредитоспособности корпоративного заемщика с учетом традиционных финансовых рисков и новых авторских показателей, определяющих рейтинг по ESG-факторам (экологическим, социальным и управленческим рискам).

Заключение

Программа ЭВМ основана на авторской методике оценки кредитоспособности корпоративных заемщиков, учитывающей ESG-факторы содержит удобный интерфейс, который позволяет пользователю вносить данные по каждому критерию оценки, при необходимости возвращаться к предыдущему шагу и корректировать его. Программа ЭВМ предназначена для кредитных организаций, выдающих кредиты корпоративным заемщикам. При дальнейшем изменении критериев оценки программа ЭВМ может быть скорректирована. Программа подана на регистрацию в Федеральную службу по интеллектуальной собственности и будет использоваться в учебном процессе.

Список источников

Официальный сайт Банка России: Развитие финансового рынка: Устойчивое развитие. Режим доступа: URL: <https://cbr.ru/develop/ur/> (дата обращения: 09.02.2023).

Список литературы

- Антонова М.В., Шумков Д.А. 2022а. Критерии оценки ESG-рисков компании в контексте устойчивого развития. Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права, 1: 125-132.
- Антонова М.В., Шумков Д.А. 2022b. Методические аспекты учета ESG-критериев в рамках оценки индивидуальных рисков организации. Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права, 6: 54-62.
- Афанасьев М.П., Шаш Н.Н. 2022. ESG-трансформация в корпоративном секторе: систематизация глобального подхода. Проблемы прогнозирования, 6: 185-197.
- Белик И.С., Дуцинин А.С., Никулина Н. Л. 2022. Влияние ESG-факторов на финансовое состояние и инвестиционную привлекательность российских публичных компаний. Управленец, 6: 44-55.
- Беляева И.Ю., Козлова Н.П., Данилова О. В. 2021. ESG-факторы как инструмент формирования деловой репутации. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика, 4: 15-21.
- Вострикова Е.О. 2020. ESG-критерии в инвестировании: зарубежный и отечественный опыт. Финансовый журнал, 4: 117-129.
- Галазова С.С. 2018. Влияние ESG-факторов на устойчивое развитие компаний и финансовую результативность корпоративного сектора. Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ), 4: 81-86.

- Гузей В.А. 2022. Анализ факторов, влияющих на устойчивое развитие организации. *Инновационная экономика и общество*, 1: 2-8.
- Ефимова, О.В. 2021. Об учете факторов устойчивого развития в финансовом моделировании инвестиционных проектов. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление*, 2: 99-111.
- Замятина М.Ф., Тишков С.В. 2022. ESG-факторы в стратегиях компаний и регионов России и их роль в региональном инновационном развитии. *Вопросы инновационной экономики*, 1: 501-518.
- Захматов Д.Ю. 2022. Система ESG-координат в методологии оценки стоимости активов. *Вестник Томского государственного университета. Экономика*: 109-126.
- Камалова А.О., Таибова Р.А. 2022. ESG-критерии и ESG-факторы в инвестиционной политике. *Бизнес. Образование. Право*, 4: 208-212.
- Марголин А.М., Вякина И. В. 2022. Риски, вызовы и механизмы ESG-трансформации систем управления. *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*, 3: 352-368.
- Нестерова А.А. 2022. ESG - актив, ESG - обязательство и ESG-капитал как способ отражения в финансовой отчетности целей устойчивого развития. *Научный результат. Экономические исследования*, 4: 58-65.
- Покровская Н.Н., Молодкова Э.Б., Снисаренко С.О., Онуфриева А.М. 2022. Экономические факторы социально-экологической повестки в концепции ESG. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент*, 2: 22-34.
- Скирко М.О., Зубова А.О., Волкова Н.А. 2022. Устойчивое развитие и социальный бизнес: возможности социального предпринимательства для реализации устойчивой повестки. *Вестник Самарского муниципального института управления*, 2: 93-100.
- Смирнова О.П., Уварова Л.К. 2022. Влияние цифровых технологий на устойчивое развитие промышленного комплекса Уральского федерального округа. *Региональная экономика и управление: электронный научный журнал*, 2: 70-73.
- Стоцкая Д.Р., Муратов Р. Р. 2020. ESG инвестирование и как оно набирает популярность. *Наука через призму времени*, 12: 69-72.
- Шемякина Т.Ю. 2021. Применение ESG-факторов в инвестиционных строительных проектах. *Вестник университета*, 3: 132-139.

References

- Antonova M.V., Shumkov D.A. 2022a. Kriterii ocenki ESG-riskov kompanii v kontekste ustojchivogo razvitiya [Criteria for assessing the company's ESG risks in the context of sustainable development]. *Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperacii, ekonomiki i prava*, 1:125-132.
- Antonova M.V., Shumkov D.A. 2022b. Metodicheskie aspekty ucheta ESG-kriteriev v ramkah ocenki individual'nyh riskov organizacii [Methodological aspects of taking into account ESG criteria in the assessment of individual risks of the organization]. *Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperacii, ekonomiki i prava*, 6: 54-62.
- Afanasyev M.P., Shash N.N. 2022. ESG-transformaciya v korporativnom sektore: sistematizaciya global'nogo podhoda [ESG-transformation in the corporate sector: systematization of a global approach]. *Problemy prognozirovaniya*, 6: 185-197.
- Belik I.S., Dutsinin A.S., Nikulina N.L. 2022. Vliyanie ESG-faktorov na finansovoe sostoyanie i investicionnyu privlekatel'nost' rossijskikh publicnyh kompanij [The influence of ESG factors on the financial condition and investment attractiveness of Russian public companies]. *Upravlenec*, 6: 44-55.
- Belyaeva I.Yu., Kozlova N.P., Danilova O.V. 2021. ESG-factory kak instrument formirovaniya delovoj reputacii [ESG factors as a tool for the formation of business reputation]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika*, 4: 15-21.
- Vostrikova E.O. 2020. ESG-kriterii v investirovanii: zarubezhnyj i otechestvennyj opyt [ESG Criteria in Investing: Foreign and Domestic experience]. *Finansovyj zhurnal*, 4: 117-129.
- Galazova S. S. 2018. Vliyanie ESG-faktorov na ustojchivoe razvitie kompanij i finansovuyu rezul'tativnost' korporativnogo sektora [The impact of ESG factors on the sustainable development of companies and the financial performance of the corporate sector]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta (RINH)*, 4: 81-86.
- Guzey V.A. 2022. Analiz faktorov, vliyayushchih na ustojchivoe razvitie organizacii [Analysis of factors affecting the sustainable development of the organization]. *Innovacionnaya ekonomika i obshchestvo*, 1:2-8.
- Efimova, O.V. 2021. Ob uchete faktorov ustojchivogo razvitiya v finansovom modelirovanii investicionnyh proektov [On taking into account the factors of sustainable development in the financial modeling of investment projects]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i upravlenie*, 2: 99-111.

- Zamyatina M.F., Tishkov S.V. 2022. ESG-factory v strategiayah kompanij i regionov Rossii i ih rol' v regional'nom innovacionnom razvitii [ESG-factors in the strategies of companies and regions of Russia and their role in regional innovative development]. *Voprosy innovacionnoj ekonomiki*, 1:501-518.
- Zakhmatov D.Yu. 2022. Sistema ESG-koordinat v metodologii ocenki stoimosti aktivov [The ESG coordinate system in the methodology of asset valuation]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*: 109-126.
- Kamalova A.O., Taibova R.A. 2022. ESG-kriterii i ESG-factory v investicionnoj politike [ESG criteria and ESG factors in investment policy]. *Biznes. Obrazovanie. Pravo*, 4:208-212.
- Margolin A.M., Vyakina I.V. 2022. Riski, vyzovy i mekhanizmy ESG-transformacii sistem upravleniya [Risks, challenges and mechanisms of ESG transformation of management systems]. *MIR (Modernizaciya. Innovacii. Razvitie)*, 3:352-368.
- Nesterova A. A. 2022. ESG - aktiv, ESG - obyazatel'stvo i ESG-kapital kak sposob otrazheniya v finansovoj otchetnosti celej ustojchivogo razvitiya [ESG is an asset, ESG is a liability and ESG is capital as a way to reflect sustainable development goals in financial statements]. *Nauchnyj rezul'tat. Ekonomicheskie issledovaniya*, 4: 58-65.
- Pokrovskaya N.N., Molodkova E.B., Snisarenko S.O., Onufrieva A.M. 2022. Ekonomicheskie factory social'no-ekologicheskoy povestki v koncepcii ESG [Economic factors of the socio-environmental agenda in the ESG concept]. *Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Sociologiya. Menedzhment*, 2: 22-34.
- Skivko M.O., Zubova A.O., Volkova N.A. 2022. Ustojchivoe razvitie i social'nyj biznes: vozmozhnosti social'nogo predprinimatel'stva dlya realizacii ustojchivoy povestki [Sustainable development and social business: opportunities for social entrepreneurship to implement a sustainable agenda]. *Vestnik Samarskogo municipal'nogo instituta upravleniya*, 2: 93-100.
- Smirnova O. P., Uvarova L.K. 2022. Vliyanie cifrovyyh tekhnologij na ustojchivoe razvitie promyshlennogo kompleksa Ural'skogo federal'nogo okruga [The impact of digital technologies on the sustainable development of the industrial complex of the Ural Federal District]. *Regional'naya ekonomika i upravlenie: elektronnyj nauchnyj zhurnal*, 2: 70-73.
- Stotskaya D.R., Muratov R.R. 2020. ESG investirovanie i kak ono nabiraet populyarnost' [ESG investing and how it is gaining popularity]. *Nauka cherez prizmu vremeni*, 12:69-72.
- Shemyakina T.Yu. 2021. Primenenie ESG-faktorov v investicionnyh stroitel'nyh proektah [Application of ESG factors in investment construction projects]. *Vestnik universiteta*, 3:132-139.

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

Антонова Марина Вячеславовна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры финансов и таможенных доходов Белгородского университета кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Шумков Дмитрий Александрович, аспирант Белгородского университета кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Marina V. Antonova, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Finance and Customs Revenue Department, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Dmitry A. Shumkov, PhD Student, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

УДК 336.71.078.3

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-335-345

Новые инструменты легализации теневых доходов в условиях цифровизации экономики: криптовалюта и цифровой рубль

Гладкова С.Б.

Государственный институт экономики, финансов, права и технологий,
Россия, 188300, Ленинградская обл., г. Гатчина, ул. Рошинская, 5
E-mail: gladkova.duma@mail.ru

Аннотация. Происходящий процесс развития криптоиндустрии в мировой системе явился одним из тех факторов, который способствовал включению в процесс создания собственной цифровой валюты Центральными банками таких стран, как Российская Федерация, Швеция, Канада, Китай и другие страны. Как следствие, обращения криптовалют и цифровых денег имеет большой риск использования их при легализации доходов, полученных преступным путем и финансировании терроризма. Целью исследования является определение приоритетных направлений в области противодействия отмыванию преступных доходов в части законодательного регулирования новых финансовых инструментов и обеспечения безопасности участников рынка криптовалют. В результате исследования даны отличительные черты криптовалюты от цифровых валют, описаны ключевые факторы отмывания денег в виртуальной среде, обоснована гипотеза характера «двойственности» рынка криптовалют в условиях реального времени. Полученные результаты исследования носят прикладной характер и могут быть использованы при составлении нормативно-правовых актов государственных органов власти и Банком России.

Ключевые слова: центральный банк, денежные расчеты, криптовалюта, цифровой рубль, ПОД/ФТ

Для цитирования: Гладкова С.Б. 2023. Новые инструменты легализации теневых доходов в условиях цифровизации экономики: криптовалюта и цифровой рубль. Экономика. Информатика, 50(2): 335–345. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-335-345

New Instruments for Legalization of Shadow Incomes in Conditions of Economy Digitalization: Cryptocurrency and Digital Ruble

Svetlana B. Gladkova

State Institute of Economics, Finance, Law and Technology
5 Roschinskaya St, Gatchina, Leningrad region, 188300, Russia,
E-mail: gladkova.duma@mail.ru

Abstract. The ongoing process of development of the crypto industry in the world system was one of those factors that contributed to the inclusion in the process of creating their own digital currency by the Central Banks of a number of countries such as the Russian Federation, Sweden, Canada, China and other countries, and as a result, the circulation of cryptocurrencies and digital money has a high risk of using them in the legalization of proceeds from crime and the financing of terrorism. The purpose of the study is to identify priority areas in the field of combating money laundering in terms of legislative regulation of new financial instruments and ensuring the security of participants in the cryptocurrency market. As a result of the study, the distinctive features of cryptocurrency from digital currencies are given, the key factors of money laundering in a virtual environment are described, and the hypothesis of the nature of the "duality" of the cryptocurrency market in real time is substantiated. The results of the study are of an applied nature and can be used in the preparation of regulatory legal acts of state authorities and the Bank of Russia.

Keywords: central bank, cash settlements, cryptocurrency, digital ruble, AML/CFT

For citation: Gladkova S.B. 2023. New Instruments for Legalization of Shadow Incomes in Conditions of Economy Digitalization: Cryptocurrency and Digital Ruble. Economics. Information technologies, 50(2): 335–345 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-335-345

Введение

Проведение мягкой денежно-кредитной политики ведущими центральными банками мира в условиях пандемии, поиск быстрых платежей коммерческими субъектами и физическими лицами, включая поиск доходности инвесторами, предоставило возможность формирования и развития рынка криптовалют.

Функционирование рынка финансов и складывающиеся на нем отношения определяет такая форма экономико-правовой категории как – «деньги». Развитие и видоизменение рынка финансов, и происходящие на нем обороты денежных ресурсов, происходят с одновременным появлением и развитием денежных суррогатов, которые появляются и вводятся на рынок частными лицами или их организациями с целью осуществления взаимных расчетов. Такой процесс технологических процессинговых инноваций в настоящее время обозначил в качестве самого популярного прототипа денежных ресурсов – криптовалюту. В связи с чем, процессы введения на рынок финансов криптовалюты и ее обороты на национальном и международном уровнях требуют уточнения ряда понятий относительно функционирования таких рынков, исходя из сложившегося мнения следует что:

1) цифровая валюта – финансовый актив, используемый в виртуальном формате и не имеющий физического эквивалента в реальной денежной системе, но при этом наделенная такими же характеристиками, как и традиционные денежные ресурсы. Цифровая валюта, как классические фиатные деньги, подлежат переводу и обмену на другой вид валюты; использоваться как средство платежа за пользование различными видами ресурсов (например, интернет). Кроме того, она не имеет географической привязанности и не политизирована (перевод может следовать в любом направлении через электронный кошелек) и в итоге можно будет расценивать как банковский депозит;

2) криптовалюта – вариация цифровой денежной единицы, которая признается активом и применяется как способ обмена, но признается наиболее надежной, так как основой является криптография, где ее цель – безопасность обмена [Шатен, 2011].

Использование криптовалюты основано на применении технологии блокчейна и распределенного реестра, что не позволяет осуществлять контроль регулятору.

Но данный подход в определении показанных понятий не является окончательным, поскольку существует многочисленный разброс таких понятий. Так, в части научных изданий и международных документах показанные понятия звучат по-разному: «виртуальная валюта», «виртуальные активы», «криптовалюта», «электронная валюта», «имущество», «виртуальные деньги», «цифровой актив», «цифровой финансовый актив» и т.д. Из такого масштаба существующих в отношении криптовалюты дефиниций можно сделать вывод о том, что на данный момент времени ни на законодательном, ни на доктринальном уровне не урегулированы вопросы ее правового поля (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Понятие «криптовалюта»
The concept of "cryptocurrency"

Принадлежность	Содержательная сущность
Европейский центральный банк	– разработчики, занимающиеся эмиссией и контролем выпускаемых нерегулируемых цифровых денег, их используют и принимают среди членов конкретного виртуального сообщества. [Сох, 2016].

Окончание табл. 1
End table 1

Принадлежность	Содержательная сущность
ФАТФ (в сфере ПОД/ФТ)	– ресурсы «выражения стоимости, презентованное в цифровом формате и представляющее в виде способ обмена, или расчетной денежной единицы, или способ хранения стоимости и не включающие под представления законного платежных денежных средств, т. е. не являющееся официальным денежным ресурсом для платежа при расчетах с кредиторами. [Долгов, 2021].
США	– «цифровые активы» (digitalassets) считаются безграничным понятием, которое принадлежит к единому строю разновидностей деятельности в экосистеме цифровых финансовых услуг, в том числе финансовая деятельность с применением цифровых валют, где правительство не дает гарантий на нее. [Ropper, 2017]
Зарубежные издания	Цифровая валюта делится на четыре вида: 1) мобильная фиатная валюта (банковские платежи); 2) валюта корпоративного значения (например, вознаграждения за лояльность); 3) виртуальная валюта применяемая для игр (внутриигровая валюта); 4) децентрализованная валюта (биткойн, альткойны и иные виды криптовалют, признающиеся альтернативной валютой). [Greenberg, 2015]
Банк России	– это актив, в выпуске которого не участвует Центральный банк или другой регулятор денежного обращения страны; – не имеет материального выражения, создается с помощью криптографических алгоритмов и функционирует в цифровом виде. Криптовалюту могут создать: компании, организации и физические лица [Бородавко, Шмакова, 2022]

Из приведенных понятий следует, что цифровая валюта признается инструментом цифрового права, которая функционирует в цифровом формате как форма стоимости, обмена, платежа, хранения. Следовательно, цифровая валюта действует: во-первых, как платежное средство; во-вторых, является виртуальной валютой, которая защищена криптографическим кодом и не имеет централизованного эмитента вещественной формы, определяемая в вариации записей пользователей системы блокчейна, но при этом имеет неограниченный доступ для майнинга практически для всех стейкхолдеров. Криптовалюта, являясь типом цифровой валюты, между тем имеет определенные различия (табл.2) [Хохлова Е.С. 2020].

Таблица 2
Table 2

Отличия криптовалюты от цифровой валюты
Differences between cryptocurrency and digital currency

Критерий	Сущность	
	Криптовалюта	Цифровая валюта
Структура	Децентрализована – правила устанавливает члены криптосообщества – их большинство.	Централизована – контроль осуществляют определенная группа людей через сеть компьютеров.
Анонимность	Идентификация пользователя – не требуется. Но существует возможность отслеживания транзакции.	Идентификация пользователя – обязательна, сопровождается документальным подтверждением (выданных государственными органами).

Окончание табл. 2
End table 2

Критерий	Сущность	
	Криптовалюта	Цифровая валюта
Прозрачность	Прозрачна – позволяет видеть цепочки транзакций пользователей размещенных в публичной цепочке.	Непрозрачна – конфиденциальность информации.
Управление транзакциями	Регулируется сообществом.	Предполагает наличие центрального органа который может отменить, заморозить и или приостановить транзакцию, как по просьбе его участников и/или владельцев, так и по собственной инициативе.
Государственное правовое регулирование финансовых активов	Неоднозначно и не установлено – не закреплён и не установлен официальный статус.	Существуют определенные правовые рамки на уровне определенных стран (например, ст. 4А Единообразного торгового кодекса США).

С появлением рынка криптовалюты международное сообщество (в лице, например, команды формирования финансовых мер по борьбе с отмыыванием денег – ФАТФ (Financial Action Task Force – FATF)) активизировало деятельность по противодействию легализации (отмыыванию) преступных доходов и финансированию терроризма в связи с ростом не только количества, но появления новых инструментов, с помощью которых происходит легализация. И в этой связи был подготовлен и опубликован ряд рекомендаций к руководству по использованию риск-ориентированного подхода в отношении предоплаченных карт, мобильных платежей и систем платежей через Интернет, в т. ч. и с использованием криптовалют. Но вырабатываемых мер явно недостаточно и уровень латентности в сфере ПОД/ФТ остается высоким и это в большей степени относится к сфере преступлений, совершенных с помощью криптовалют [Хохлова, 2020].

В настоящее время складывающийся и функционирующий рынок криптовалют в условиях реального времени имеет, с одной стороны, неоднозначный, а, с другой, противоречивый характер, что можно трактовать как двойственность характера. Двойственность и противоречивость рынка криптовалют проявляется в следующем:

– с одной стороны, рынок криптовалют выступает как положительный фактор – создает условия и обеспечивает тем самым механизм быстрого и удобного платежного средства, потенциально привлекательного с инвестиционной точки зрения, что способствует и удовлетворению запросов клиентов на моментальные переводы и моментальные взаиморасчеты;

– с другой стороны, выступает как фактор негативный, поскольку создает возможности анонимности платежей и уход от посредников (банков и платежных систем), включая пренебрежение передачи функции верификации проводимых транзакций в систему распределенных реестров, что в свою очередь формирует потенциальные угрозы как для национальной экономики, так и для финансовой стабильности [The current problems..., 2017].

Неоднозначность и противоречивость характера криптовалюты как средства платежа в национальной экономике позволяет выделить ее специфические финансовые особенности:

1) установление в системе платежей отправителя и получателя – на начальном его этапе весьма затруднено, поскольку это связано с выполнением ряда дополнительных действий. Во-первых, отслеживанием, а во-вторых, сопоставлением друг с другом проведенных транзакций;

2) покупка и продажа криптовалюты, а также обмен на фиатные деньги могут быть произведены достаточно быстро и без каких-либо сложностей;

3) финансовый контроль и экономическое расследование с точки зрения следования нормам правового поля либо их нарушение является затруднительным, поскольку применение механизма какого-либо законодательного акта и/или базы невозможно в силу их отсутствия;

4) применение каких-либо превентивных мер по противодействию незаконного использования криптовалюты является невозможной мерой, т.к. отсутствуют возможности применения законодательной базы и системного ее использования (в силу их законодательного закрепления) [Луняков, 2021].

В связи с выведенными специфическими финансовыми особенностями криптовалюты и отсутствия законодательной базы в отношении функционирования и хождения ее на национальном финансовом рынке возникает острая необходимость установления системного правового ее регулирования и контроля, что в свою очередь позволит:

1) во-первых, осуществить через системный контроль регулирование и/или ограничение ее оборота;

2) во-вторых, осуществить, в какой-то мере, вывод из теневой экономики части легального бизнеса (полностью – при идеальной модели контроля и законодательного закрепления правового поля, что в практической деятельности обществом достигнуть быть не может), которые в рамках своей деятельности для ускорения процессов расчетов и платежей используют валюту;

3) в-третьих, рельефно отметить сферу теневой экономики и в ней преобладающий теневой бизнес (нелегальность торговых операций, финансовое мошенничество и мн. др.);

4) в-четвертых, перевести деятельность финансовой разведки в разряд повышения ее эффективности, поскольку отсутствие практики в области криптовалюты требует безусловной адаптации выработанных стандартов ПОД/ФТ в сложившихся условиях, непосредственно связанных с криптовалютой [Лебедев, Ефимов, 2021].

Волатильность криптовалюты и значительные риски, вероятности потерь денежных средств устанавливают связь между возникающими угрозами в области национальной безопасности и устойчивостью экономики через специфику отмывания денежных ресурсов, т.е. виртуальные активы (табл.3).

Таблица 3

Table 3

Факторы отмывания денег: виртуальные активы
Money Laundering Factors: Virtual Assets

Факторы	Сущность
1. Транзакции: быстрые/невозвратные	– стремительность проведения платежной операции; – возможность одновременного проведения большого количества платежных операций (затруднено их отслеживание); – платежные операции могут носить невозвратный характер (риск отмены перевода)
2. Анонимность: отсутствие идентификации	– транзакции не сопровождаются информацией о счете отправителя/получателя (это делает невозможным применения стандартов ПОД/ФТ); – может содержать виртуальную, непроверенную информацию о владельце счета при использовании услуг провайдера в сфере виртуальных активов (поскольку не сопровождается регистрационными действиями)
3. Недостаточность информационная (о платежных операциях)	– сопровождается анонимностью; – информативные данные содержат информацию: о конвертации, передвижении виртуальной валюты

Окончание табл. 3
End table 3

Факторы	Сущность
4. Неосуществимость прецедента определения Применения виртуальных валют	– недостаточное количество данных о виртуальных валютах (включая знаний) – утаивание данных касательно о совершенных операциях (содействует криминальной и мошеннической деятельности)
5. Наличие множества моделей транзакций и связанные с ними сложности	– не прослеживается связь между счетом и индивидом; – возможность неограниченного количества счетов
6. Отсутствие финансовых ограничений	– сумма лимита не установлена; – алгоритм транзакции не зависит от суммы сделки

Приведенные факторы отмывания денег способствуют росту криптопреступности что обусловлено рядом следующих факторов:

1) во-первых, потребности. Потребность поиска сопровождается огромным предложением сети Интернет, как альтернативы выбора новых инструментов и механизмов по легализации преступных доходов;

2) во-вторых, недостаток статуса криптовалют. Нет финансового контроля, что дает старт для развития квазифинансовых структур, которые обеспечивают сохранность финансовых ресурсов с применением финансовых технологии – блокчей. Или конвертацией криптовалюты в фиатную валюту;

3) в-третьих, нет контроля за масштабами легализуемых средств. Анонимность между клиентом и пользователем и координационным органом для разработки единой схемы в отношении незаконных криптотранзакций [Васильева, Чугун, 2022].

По мнению ряда авторов: Иванцовым С.В., Сидоренко Е.Л., Спасенниковым Б.А. и др., необходимым и практически значимым признается криминологический анализ криптопреступности как относительно самостоятельного объекта научного познания и одновременно подсистемы криминологической модели интернет-преступности. Следовательно, криптопреступность можно объяснить как совокупность единых системных свойств деяний, совершаемых в отношении виртуальной валюты или с ее использованием. Так как это явление находится в стадии своей институционализации, применение носит условный характер. В этой связи можно выделить три основных сектора криптопреступности:

– незаконная продажа психоактивных веществ и иных запрещенных веществ или товаров, контента или услуг;

– отмывка нелегальных доходов с применением новой цифровой валюты;

– хищение криптовалюты и иные преступления против собственности [Иванцов и др., 2019].

В настоящее время за криптовалюту существует возможность приобретения широкого выбора нелегальных товаров и услуг. Но при этом самым распространенным сегментом криптопреступности является незаконный оборот наркотических средств и психотропных веществ (80 % общего объема рынка нелегальных товаров). Давая оценку происходящим процессам, Росфинмониторинг в своей Национальной оценке рисков отводит риски использования виртуальных валют на самый высокий уровень, одновременно отождествляя его с процессами нарастания. Из чего следует, что в настоящее время действующая система ПОД/ФТ к существующим угрозам и новым вызовам современных технологий явно не готова, что требует безусловного приложения определенного рода усилий, соразмерным уровню сложившихся рисков на рынке криптовалюты [Shevchuk, 2021]. В данном случае мы можем говорить, как и было отмечено нами ранее, о невозможности применения принципа КУС к анонимным виртуальным активам, что определенно требует быстрого поиска

решений и соответствующих специалистов, а также развития механизмов регулирования исходя из учета влияния распространения финансовых технологий и его составных частей: регуляторных технологий (RegTech) и набора технологических решений в совокупности со специализированными инструментами для регулятора (SupTech) [O’Leary, 2023] с целью улучшения надзора в условиях дигитализации рынка и обеспечения выполнения классических требований ПОД/ФТ. Следовательно, современные финансовые технологии, как форма услуг в сфере финансов и сервисов, – это, прежде всего, финансовые инструменты, технология которых определяется использованием инновационных технологических процессов – «большие данные» (BigData), искусственный интеллект и машинное обучение, роботизация, блокчейн, облачные технологии, биометрия и ряд других [Borzenko, Hlazova, 2021]. Что делает наполнение финансового рынка инновационными финансовыми технологиями необходимым современным атрибутом сопровождения различных видов финансовых операций (кредитования, платежей и переводов, трансграничного перемещения капитала и т.д.) посредством трансформации применяемых различных бизнес-моделей, что тем самым способствует и повышению уровня клиентоориентированности. Наряду с чем, цифровизация финансового рынка позволяет не только снижать транзакционные издержки, но и посредством выстраивания алгоритмизации взаимоотношений способствует реализации процессов прозрачности проводимых финансовых операций за счет объединения в рамках единой информационной среды [Жданов, 2022].

Отсутствие правового статуса и существующий правовой вакуум в отношении криптовалют, наряду с развитием системы электронных платежных сервисов и использованием электронных и виртуальных валют, активизировал деятельность и преступных групп по отмыванию доходов и способствовал их качественному и количественному росту. В связи с чем проявляется острая необходимость в установлении и формировании международного сотрудничества в выработке и развитии правовых основ ПОД/ФТ с применением криптовалют, включая проблемные вопросы правового ее регулирования, поскольку в настоящее время криптовалюта:

- 1) во-первых, является востребованной в силу отсутствия правового статуса;
- 2) во-вторых, показана как неподконтрольная национальной системе ПОД/ФТ и органам власти. Включение криптовалюты в процесс ограничения суверенитета денежно-кредитной политики – может способствовать росту инфляционных процессов, снижение или сдерживание которых потребует установки и поддержания на более высоком уровне ключевой ставки, что, как видится, затронет интересы граждан и тем самым снизит доступность системы кредитования, включая, безусловно, и бизнес-структуры. При этом, исходя из волатильности курса и роста числа мошеннических схем в торговле криптовалютой, определенным образом создаются риски потерь вкладываемых денег, а в случае использования заемных средств – риск остаться должником;
- 3) в-третьих, не имеет обеспеченности ликвидными активами и не обладает какими-либо гарантиями: частного или государственного сектора. Рост рыночной стоимости криптовалюты и его стремительность, имеет спекулятивным характер и определяется в первую очередь спекулятивным спросом в расчете на дальнейший рост курса, что приводит к формированию пузыря. Такие значительные колебания курса вызываются, как правило, через манипулирование действий со стороны определенной группы лиц. Криптовалюты, кроме того, обладают свойствами финансовой пирамиды, так как повышается цена и поддерживается спрос со стороны новых участников входящих на рынок;
- 4) в-четвертых, всегда сопряжена с риском потери стоимости на «виртуальных биржах»;
- 5) в-пятых, может составлять угрозу национальной и экономической безопасности в силу возможности быть конкурентоспособной по отношению к национальным фиатным валютам, что может спровоцировать их ослабление. Поэтому, говорить о долгосрочном потенциале использования криптовалюты в качестве расчетов – преждевременно и, как представляется, является ограниченным во времени, поскольку использование криптовалюты в

т.ч. связано и с обслуживанием нелегальной, противоправной деятельности. При этом, на сегодняшний день обеспечение необходимой прозрачности обращения криптовалют – практически невозможно [Банк России, 2023].

б) статус криптовалюты в РФ до сих пор законодательно урегулирован, что влечет риски в ее обороте. Отрасли с преобладающим публичным регулированием (банкротство, исполнительное производство и др.) прямо признают криптовалюту имуществом, гражданское и уголовное право также придерживаются этой тенденции, что накладывает ограничения на любые сделки и операции с ней.

Действия с криптовалютой ограничены законодательством РФ: криптовалюту запрещено использовать в качестве средства оплаты товаров и услуг, так как она представляет собой имущество, а не денежное средство. В случае необходимости «оплаты» товара криптовалютой возможно заключение договора мены (но не купли-продажи товара) [Васильченко, 2022].

По данным Банка России только за последний 2021 год рост рынка криптовалюты способствовал совокупному объему их капитализации до уровня – 2,3 трлн долл. США, что составило порядка 1% глобальных финансовых активов. При этом, сделки, производимые гражданами России, достигали, по разным данным, не менее 5 млрд долл. США в год, что связано с активностью граждан на разных интернет-платформах, непосредственно связанных с торговлей криптовалютами. Следует в этой связи уточнить, что Россия является одним из лидеров по объему мировых майнинговых мощностей [Финансовое право, 202].

Вынесенный Государственной Думой Федерального Собрания Российской Федерации (в ноябре 2022 года) на рассмотрение законопроект по легализации на территории России майнинга криптовалюты, в случае его принятия (предполагаемый срок введения – весенняя сессия работы ГД ФС РФ 2023 г.), позволит ввести такую деятельность в правовое поле, что может:

- во-первых, положить начало формированию правоприменительной базы практик, перспективность формирования и наполнение которой позволят в практической деятельности более эффективно применять комплексное обеспечение регулятивных действий – выпуск и оборот цифровых валют;

- во-вторых, сформировать основной пакет требований в отношении работы физических и юридических лиц, производимых майнинг цифровой валюты, в том числе участников майнинг-пула, который, как предполагается, будет выработан и прописан Правительством РФ, но по мере реализации и прохождения процедуры согласования с Банком России (в настоящее время в этой области этап согласования не пройден);

- в-четвертых, осуществлять контроль требований посредством привлечения федерального органа исполнительной власти, который, как предполагается, будет уполномочен на уровне кабинета министра [ФЗ- №259].

В случае реализации законопроекта регулирования деятельности по майнингу и выполнения требований, может появиться возможность наполняемости бюджетов всех уровней посредством применяемых налоговых отчислений. Отчасти это снизит и риски в сфере такой деятельности. Полагаем, что в дополнение такое законопроект потребует и внесение изменений в законодательную систему в части выработки конкретных мер в ГК РФ, Арбитражном процессе РФ и т.д. [Смирнов, Митькин, 2021].

Остается процессом дискуссии опубликованный (в январе 2022 года) доклад Банка России для общественных консультаций «Криптовалюты: тренды, риски, меры». В частности, Банк России считает, что в настоящих условиях процесс наращивания и складывающиеся масштабы майнинга криптовалют на национальном рынке несут в себе значительные риски для дестабилизации экономики, что связано с:

- 1) непроизводительным расходом электроэнергии, включая реализацию экологической повестки России;

- 2) развитие спроса на инфраструктуру для осуществления операций с криптовалютами [Бородавко, Шмакова, 2022].

Исходя из чего, по мнению представителей Банка России, оптимальность принимаемого решения определяется вынесением в отношении экономики России запрета на

майнинг криптовалют. При этом Банк России не самоустраняется от процедур и мер совершенствования регулярного мониторинга операций с криптовалютами, включая повсеместную работу с финансовыми регуляторами стран, на территориях которых зарегистрированы криптобиржи (целью такого сотрудничества является – информационная осведомленность об операциях российских клиентов на зарубежных рынках криптовалют). Параллельно Банк России, как и другие страны мира и их банки, внедряет системы быстрых платежей, способствующие проведению быстрых расчетов (это как для граждан, так и для бизнеса является важным моментом в удовлетворении существующих потребностей, т.е. в услугах мгновенных платежей и переводов), формирует собственные цифровые валюты (ЦВЦБ) – новую платежную инфраструктуру, которая будет способствовать гражданам, бизнесменам и государству проводить мгновенные операции с минимальными комиссиями.

Применение прогрессивных финансовых технологий и цифровой экономики финансовыми институтами и государственными органами потребует решение ряда вопросов в сфере повышения эффективности и улучшения цифровых сервисных систем, таких как:

- 1) цифровая идентификация – как обеспечительная форма доступа всех граждан к ряду финансовых цифровых сервисов;
- 2) системно-режимная защита данных – как форма наделения правами и обязанностями потребителей к системе доступа и информационного обмена данными;
- 3) стратегии кибербезопасности – как реакция реагирования на кибератаки и выработка восстановительных действий и нивелированию рисков.

Заключение

Из проведенного анализа и приведенных дефиниций следует, что современный уровень криптопреступности на фоне явной неготовности регулятора и его финансовых институтов, включая систему правоохранительных органов, сохраняет тренд количественно-качественной трансформации. Что позволяет говорить о законодательной системе как о системе, которая до настоящего времени так и не установила правовой статус криптовалюты и других цифровых продуктов блокчейна и не разработала единых стандартов предупреждения такого рода преступлений. Что, в свою очередь, позволяет наращивать криптопреступностисвой потенциала и намеренное увеличение положительной динамики за счет углубленной специализации привлекаемых финансовых посредников и организаций с единственной целью – криминального использования виртуальной валюты.

Стремительное развитие криптопреступности требует от регулятора и других государственных органов организации и разработки модели процесса правового регулирования оборота в сфере ПОТ/ФТ, результатом которых явится решение таких значимых задач как:

– упреждение осуществления корыстных преступлений финансово-кредитными институтами и финансовыми посредниками;

– поддержка инновационного процесса для развития экономики государства.

В качестве приоритетного направления в сфере правового регулирования и формирования безопасности участников рынка криптовалюты необходимо:

– прописать криптовалюту в качестве объектов гражданских прав (ст. 128 ГК РФ);
– последовательно определить в рамках правового поля, специальных нормативных правовых актах, предел безопасности использования модели коллективного инвестирования (краудфандинга);

– прописать на законодательном уровне и закрепить требования об обязательной идентификации владельцев цифровых активов и иных лиц, участвующих в их обороте;

– закрепить конвертацию цифровой криптовалюты в фиатную как специальный режим;

– сформировать специальные критерии (в области права) и стандарты предупреждения отмывания криминальных доходов включая криптовалюту,

– разграничить зоны ответственности, например, на уголовную и на административную (по обороту криптоинструментов);

– сформировать международную базу данных о лицах, занимающихся незаконным оборотом и применением цифровых финансовых активов;

– определить модели налогового администрирования криптовалюты и иных цифровых активов;

– включить в процесс лицензирование профессиональной деятельности, связанной с созданием и оборотом новых цифровых активов.

Правовой статус криптовалюты в РФ все еще до конца не урегулирован, однако в последнее время законодательство и судебная практика по данному направлению расширились. Основным законодательным актом, регулирующим оборот криптовалюты в РФ, является ФЗ от 31.07.2020 № 259-ФЗ «О цифровых финансовых активах, цифровой валюте и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». В этом законе прописан термин «цифровая валюта». В РФ криптовалюта не признается официальной валютой, следовательно, ее функционал в РФ ограничен.

Доступными действиями в отношении криптовалюты в РФ признаются:

- приобретение в качестве инвестиций;
- применение как средство платежа;
- совершение операций с криптовалютой как имуществом: владение, майнинг, купля-продажа, обмен, залог.

Выпуск и обращение криптовалюты в РФ является оказанием услуг, которые осуществляются с использованием объектов российской информационной инфраструктуры.

Таким образом, обусловленность и предрасположенность распространения угроз в глобальном пространстве рынка криптовалюты требует принятия мер и законодательного их закрепления.

Список источников

- Федеральный закон "О цифровых финансовых активах, цифровой валюте и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 31.07.2020 № 259-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_358753/. СПС КонсультантПлюс. (дата обращения: 23 января 2023).
- Финансовое право: учебник / Игнатьева С.В., Гладкова С. Б., Кудрявцев Ю. А и др.; 3-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: ООО «Р-КОПИ», Издательство Санкт-Петербургского университета МВД России, 2020. – 236 с.
- Центральный банк Российской Федерации. URL: <https://cbr.ru/> (дата обращения: 23 января 2023)
- Шатен П.-Л. 2011. Противодействие отмывания денег и финансирования терроризма: Практическое руководство для банковских специалистов / Пьер-Лоран Шатен и др.; Пер. с англ. – М.: Альпина Пабlishерз, 316 с.
- Cox J. 2016. Staying in the Shadows: The Use of Bitcoin and Encryption in Cryptomarkets / J. Cox . The Internet and Drug Markets. — Lisbon : EMCDDA, 41–47.
- Greenberg A. 2015. Agora, the Dark Web's Biggest Drug Market, Is Going Offline. URL: <https://www.wired.com/2015/08/agora-dark-webs-biggest-drug-market-going-offline>. (дата обращения: 23 января 2023)
- O'Leary R.R. 2023. Europol Warns Zcash, Monero and Ether Playing Growing Role in Cybercrime. CoinDesk. URL: <https://www.coindesk.com/europol-warns-zcash-monero-and-ether-playing-growing-role-in-cybercrime>. (дата обращения: 23 января 2023)
- Popper N. 2017. Leading Online Black Markets Are Shut down by Authorities / N. Popper, R. Ruiz . The New York Times, July 20.
- The total capitalization of cryptocurrencies. URL: <https://profinvestment.com> (дата обращения: 23 января 2023)

Список литературы

- Бородавко Л.С., Шмакова А.Н. 2022. Криптовалюта и методы ее регулирования в современных условиях. Вопросы устойчивого развития общества, 5:114-124.
- Васильева Я.Ю., Чугун Д.А. 2022. Криптовалюта как предмет легализации преступных доходов. Искусство правоведения, 1 (1): 39-45.
- Васильченко А.А. 2022. К вопросу о совершенствовании противодействия легализации (отмыванию) доходов, полученных преступным путем, и финансированию терроризма. Право и образование, 3: 66-74.
- Долгов Я.В. 2021. Криптовалюта: социально-экономические аспекты // Банковское дело, 3: 43-46.
- Иванцов С.В., Сидоренок Э.Л., Спасенников Б.А., Березкин Ю.М., Суходолов Я.А. 2019. Преступления, связанные с использованием криптовалюты: основные криминологические тенденции. Всероссийский криминологический журнал, 13(1): 85-93.
- Жданов Д.Ю. 2022. Криптовалюта: сущность и противоречия. Философия хозяйства, 6(144): 138-156.
- Лебедев И.А., Ефимов С.В. 2021. Актуальные вопросы разработки системы управления рисками в сфере противодействия отмыванию доходов и финансированию терроризма: монография / Лебедев И.А., Ефимов С.В., и др. Фешина С.С., Прасолов В.И., Кабанова Н.А., Боташева Л.Х., Щербаков А.Н. М.: Прометей, 270 с.

- Луныков О.В. 2021. Криптовалюта: инфляционный хедж денежного рынка или чистая спекуляция? Банковское дело, 5: 8-11.
- Смирнов М.В., Митькин Г.С. 2021. Криптовалюта или фиатные деньги: за кем будущее? Экономика и бизнес: теория и практика, 12-3(82): 78-81.
- Хохлова Е.С. 2020. Положительные и отрицательные стороны применения криптовалюты при осуществлении сделок в сети интернет. Осуществление и защита гражданских прав и интересов полиции России: вопросы теории и практики: сборник материалов всероссийской научно-практической конференции Санкт-Петербурга, 153-157.
- Borzenko O.O., Hlazova A.B. 2021. Cryptocurrency as a secondary form of manifestation of finance virtualization Bulletin of Karaganda University. Economy Series, 102(2): 56-66.
- Shevchuk T.D., Karpenko B.A., Pereskokov D.D., Sivtseva N.G. 2021. Cryptocurrency: analysis of its usage and prospects. ISTU Bulletin of Youth, 11 (2): 146-150.
- Sukhodolov A.P. et al. 2017. The current problems of preventing crimes in the sphere of economy committed with the use of information and telecommunication networks. All-Russian Criminological Journal, 11(1): 13–21.

References

- Borodavko L.S., Shmakova A.N. 2022. Cryptocurrency and methods of its regulation in modern conditions. Issues of sustainable development of society? 5: 114-124. (in Russian)
- Vasilyeva Ya.Yu., Chugun D.A. 2022. Cryptocurrency as a subject of money laundering. Art of Jurisprudence, 1 (1): 39-45. (in Russian)
- Vasilchenko A.A. 2022. On the issue of improving the counteraction to the legalization (laundering) of proceeds from crime and the financing of terrorism. Law and Education, 3: 66-74. (in Russian)
- Dolgov Ya.V. 2021. Cryptocurrency: socio-economic aspects. Banking. 3: 43-46. (in Russian)
- Ivantsov S.V., Sidorenko E.L., Spasennikov B.A., Berezkin Y.M., Sukhodolov Ya.A. 2019. Crimes related to the use of cryptocurrencies: the main criminological trends. All-Russian Journal of Criminology, 13(1):85-93. (in Russian)
- Zhdanov D.Yu. 2022. Cryptocurrency: essence and contradictions. Philosophy of Economy. 6 (144): 138-156. (in Russian)
- Lebedev I.A., Efimov S.V. 2021. Topical issues of developing a risk management system in the field of countering money laundering and terrorist financing: monograph / Lebedev I.A., Efimov S.V., et al. Feshina S.S., Prasolov V.I., Kabanova N.A., Botasheva L.H., Shcherbakov A.N. M.: Prometheus, 270. (in Russian)
- Lunyakov O.V. 2021. Cryptocurrency: Inflationary Money Market Hedge or Pure Speculation? Banking, 5: 8-11. (in Russian)
- Smirnov M.V., Mitkin G.S. 2021. Cryptocurrency or fiat money: who is the future for? Economics and Business: Theory and Practice, 12-3 (82): 78-81. (in Russian)
- Khokhlova E.S. 2020. Positive and negative aspects of the use of cryptocurrencies in transactions on the Internet. Implementation and protection of civil rights and interests of the Russian police: questions of theory and practice: collection of materials of the All-Russian Scientific and practical conference St. Petersburg, 153-157. (in Russian)
- Borzenko O.O., Hlazova A.B. 2021. Cryptocurrency as a secondary form of manifestation of finance virtualization Bulletin of Karaganda University. Economy Series, 102(2): 56-66.
- Shevchuk T.D., Karpenko B.A., Pereskokov D.D., Sivtseva N.G. 2021. Cryptocurrency: analysis of its usage and prospects. ISTU Bulletin of Youth, 11 (2): 146-150.
- Sukhodolov A.P. et al. 2017. The current problems of preventing crimes in the sphere of economy committed with the use of information and telecommunication networks. All-Russian Criminological Journal, 11(1): 13–21.

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

Гладкова Светлана Борисовна, кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела, Государственный институт экономики, финансов, права и технологий, г. Гатчина, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Svetlana B. Gladkova, PhD in Economics, Associate Professor; Senior Researcher of the Research Department, State Institute of Economics, Finance, Law and Technology, Gatchina, Russia

УДК 336.64, 336.225

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-346-356

Современные подходы к оценке налоговой безопасности хозяйствующих субъектов

Попов А.Ю., Чепулянис А.В.

Уральский государственный экономический университет,
Россия, 620144, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 62
E-mail: prepopopov@yandex.ru, anthonas@yandex.ru

Аннотация. Налоговая безопасность предприятий и организаций позволяет им эффективно функционировать в условиях изменяющейся среды, соответственно методика оценки налоговой безопасности требует детального рассмотрения. В целях разработки рекомендаций по ее совершенствованию раскрыты предлагаемые современными исследователями авторские трактовки определения дефиниции налоговой безопасности хозяйствующих субъектов, ряд из них подвергнут критике, предложено авторское определение, охватывающее два аспекта: налоговую безопасность как составляющую финансовой безопасности и налоговую безопасность, характеризующуюся низким уровнем налогового риска либо его отсутствием. Проведен обзор и группировка общепринятых индикаторов финансовой безопасности предприятий, на основе чего с помощью математических методов раскрыта возможность адаптировать их путем корректировки на налоговые факторы в целях определения оптимальных значений, характеризующих зону безопасности (на примере оценки ликвидности). Второй аспект оценки налоговой безопасности связан с нивелированием налоговых рисков доначисления налогов, сборов, пени и штрафов на основе критериального подхода, предлагаемого ФНС. Раскрыты и систематизированы предлагаемые налоговой службой критерии налоговой безопасности, определены их пороговые значения и возможности применения индикаторного подхода в целях управления налоговой нагрузкой, укрепления безопасности и обеспечения устойчивого развития.

Ключевые слова: налоговая безопасность, индикаторный подход, финансовая безопасность, ликвидность, налоговая нагрузка, рентабельность

Для цитирования: Попов А.Ю., Чепулянис А.В. 2023. Современные подходы к оценке налоговой безопасности хозяйствующих субъектов. Экономика. Информатика, 50(2): 346–356. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-346-356

Modern Approaches to Assessing the Tax Security of Economic Entities

Alexey Yu. Popov, Anton V. Chepulyanis

Ural State University of Economics
62 8Marta St, Ekaterinburg, Sverdlovskaya oblast, 620144, Russia
E-mail: prepopopov@yandex.ru, anthonas@yandex.ru

Abstract. The tax security of enterprises and organizations allows them to function effectively in a changing environment, respectively, the methodology for assessing tax security requires detailed consideration. In order to develop recommendations for its improvement, the author's interpretations of the definition of the definition of tax security of economic entities proposed by modern researchers are disclosed, a number of them are criticized, an author's definition covering two aspects is proposed: tax security as a component of financial security and tax security characterized by a low level of tax risk or its absence. The review and grouping of generally accepted indicators of financial security of enterprises is carried out, on the basis of which, using mathematical methods, the possibility of adapting them by adjusting for tax factors in order to determine the optimal values characterizing the security zone (using the

example of liquidity assessment) is revealed. The second aspect of the assessment of tax security is related to leveling the tax risks of additional taxes, fees, penalties and fines based on the criteria approach proposed by the Federal Tax Service. The criteria of tax security proposed by the tax service are disclosed and systematized, their threshold values and the possibilities of using an indicator approach in order to manage the tax burden, strengthen security and ensure sustainable development are determined.

Keywords: tax security, indicator approach, financial security, liquidity, tax burden, profitability

For citation: Alexey Yu. Popov, Anton V. Chepulyanis. 2023. Modern Approaches to Assessing the Tax Security of Economic Entities. Economics. Information technologies, 50(2): 346–356 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-346-356

Введение

Современные условия функционирования отечественного бизнеса характеризуются множеством нерешенных проблем в связи с геополитической нестабильностью, нарастающим санкционным давлением, разрывом хозяйственных связей, необходимостью трансформации бизнес-процессов и иными факторами. Ряд предприятий находится в сложной экономической ситуации еще с начала пандемии COVID-19, которая преодолевалась в том числе с применением мер поддержки, разработанных Правительством РФ, включая субсидии, льготные кредиты и др. Как отмечает Левашенко А.Д., «реализация мер прямой финансовой поддержки бизнеса в виде грантов и беспроцентных кредитов должна стать важным шагом по преодолению негативных экономических последствий пандемии (снижение спроса, приостановление деятельности и пр.)» [Левашенко, Коваль, 2022]. Ряд трудностей породил и геополитический кризис в восточной Европе, по мнению д.и.н., профессора Небречина С.М. «повышенную угрозу представляет деструктивная деятельность международных сил глобального влияния (МСГВ), опирающихся на возможности «глубинного государства» (ведущие спецслужбы, глобальные медиа и цифровые платформы, мировая сеть агентуры влияния, международные финансовые структуры и ТНК, институты массовой культуры, шоу-бизнеса и другие НКО), представители которого активны практически во всех странах мира» [Небречин, 2022]. Муравьева Н.Н. акцентирует внимание на том, что «цепочки закупок сырья, материалов, комплектующих, оборудования, которые формировались годами, оказались частично или полностью парализованными. Особенно сильно пострадали предприятия, которые построили большую часть своей деятельности на обслуживании ушедших или уходящих с российского рынка иностранных компаний» [Муравьева, Харитonenкова, 2022]. При всем этом хозяйствующий субъект продолжает оставаться плательщиком установленных налоговым законодательством налогов и сборов, которые составляют существенную (до 50%) долю затрат компании и требуют отвлечения средств из оборота на исполнение обязанностей по уплате налогов и сборов. В этой связи не теряет актуальности вопрос оценки налоговой безопасности, которая зачастую определяет экономические решения в финансовой сфере. Данное научное направление развивалось рядом научных исследователей, в частности Воронцовым В.Б. [Воронцов, 2008], Мироновой О.А. [Миронова, 2017], Костюковым А.Н. [Костюков, 2015] и др. При этом данные авторы оценивают налоговую безопасность на макроуровне, в частности Тимофеева И.Ю. понимает под последней «устойчивое функционирование налоговой системы страны и ее регионов, обеспечение сбора налогов и налоговых платежей, предусмотренных налоговым законодательством, предотвращение налоговых злоупотреблений на основе контроля со стороны государственных органов» [Тимофеева, 2010]. С позиции же оценки налоговой безопасности субъектов бизнеса, рассмотренной Муравлевой Т.В. [Муравлева, 2018], Азарской М.А. [Азарская, 2017], Кривцовым А.И. [Кривцов, 2012] и др. на сегодняшний день отсутствует единообразная методика. Научный интерес представляют и зарубежные подходы к оценке налоговой безопасности, раскрытые в частности Амагдобели М.Д. [Амагдобели, 2019], Бурхаузером Р.В. [Бурхаузер, 1985], Полтораком А. [Полтораком, 2016]

и др. Соответственно, указанный вопрос требует дальнейшего рассмотрения и определяет цель настоящей статьи – освещение современных подходов оценки налоговой безопасности субъектов хозяйствования (предприятий, организаций и индивидуальных предпринимателей) и предложение направлений по их развитию и совершенствованию.

Объекты и методы исследования

При выполнении указанного исследования применялись общенаучные методы (методы эмпирического исследования), проводился обзор литературы, нормативно-правовой базы и точек зрения отечественных ученых, а также их сравнение. Кроме того, были использованы методы теоретического исследования, к которым отнесен анализ современных подходов к оценке налоговой безопасности с выявлением их преимуществ и недостатков, обобщение точек зрения, проведение классификации показателей, моделирование системы оценки и др.

В целях раскрытия методики оценки налоговой безопасности предприятий и организаций необходимо уточнить указанную дефиницию, являющуюся основным объектом исследования настоящей работы. Обзор точек зрения отечественных исследователей на определение налоговой безопасности субъектов бизнеса представлен в табл.1.

Таблица 1
Table 1

Авторские подходы к определению налоговой безопасности хозяйствующих субъектов
Author's approaches to determining the tax security of economic entities

Автор и источник	Авторское определение
Муравлева Т.В., 2018	Такое функционирование предприятия (деятельность индивидуального предпринимателя), при котором поддерживаются высокие темпы выручки по сравнению с темпами роста налоговых платежей в условиях финансовой надежности и устойчивости в результате минимизации налоговых рисков.
Азарская М.А., Щербакова Н.В., 2017	Совокупность условий и факторов, обеспечивающих безопасное и устойчивое развитие предприятия во всех сферах деятельности и возможность своевременного исполнения обязанности налогоплательщика в соответствии с налоговым законодательством.
Ванюков Н.Ю., Конев А.А., 2018	Обеспечение надежного и устойчивого функционирования хозяйствующего субъекта путем поддержания более высоких темпов роста выручки.
Кривцов А.И., 2012	Налоговая оптимизация, при которой обеспечивается жизнестойкость налогоплательщика и возможность сохранять признаки полноценного экономического субъекта в условиях изменяющейся налоговой среды, с эффективными механизмами управления налоговыми рисками.
Воронцов Б.В., 2008	Финансово-экономическое состояние налогоплательщика, обеспеченное минимизацией налоговых рисков, при котором со стороны хозяйствующего субъекта полностью и своевременно уплачиваются начисленные налоги, а со стороны исполнительных и законодательных органов обеспечивается предусмотренная законом защита налогоплательщика.

Источник: Составлено на основе данных [Муравлева, 2018; Азарская, 2017; Ванюков, 2018; Кривцов, 2012; Воронцов, 2018]

Source: Compiled by the author based on [Muravleva, 2018; Azarskaja, 2017; Vanjukov, 2018; Krivcov, 2012; Voroncov, 2008]

По нашему мнению, в определенных аспектах следует согласиться с Мироновой О.А. [Миронова, 2017] и Воронцовым В.Б. [Воронцов, 2018], определяющими налоговую безопасность состоянием хозяйствующего субъекта, позволяющим уплачивать установленные законодательством налоги и сборы при минимизации налоговых рисков. Также следует

учитывать аспект, затронутый Муравлевой Т.В. [Муравлева, 2018], и Кривцовым А.И. [Кривцов, 2012], указывающий на соблюдение жизнестойкости и финансовой надежности компании в нестабильной обстановке при условии снижения налоговой нагрузки. Определение Ванюкова Н.О. [Ванюков, 2018], с нашей точки зрения, подлежит критике, поскольку рост выручки не является главным фактором экономической безопасности, он может свидетельствовать о расширении деятельности, завоевании рынков сбыта, но при рискованных методах ведения деятельности это только ухудшит налоговую безопасность компании. Также не следует ставить знак равенства между налоговой безопасностью и налоговой оптимизацией, поскольку оптимизация связана со снижением налоговой нагрузки на основе различных методов, которые в большинстве случаев повышают налоговые угрозы, а налоговая безопасность нацелена на их снижение. Таким образом, на основе анализа данных точек зрения нами предлагается следующее определение налоговой безопасности хозяйствующих субъектов, под которой следует понимать состояние устойчивого развития хозяйствующего субъекта в условиях эффективного управления налоговой нагрузкой, минимизации налоговых рисков и своевременного и полного исполнения обязанностей налогоплательщиков. Данное определение затрагивает два аспекта налоговой безопасности предприятия: его экономическую и финансовую безопасность, позволяющую вести деятельность в отсутствии хозяйственных рисков и соблюдать тренд устойчивого развития, а также эффективное управление налоговой нагрузкой и налогооблагаемыми показателями, позволяющими снизить налоговый риск. Остановимся на указанных аспектах более подробно.

Результаты и их обсуждение

Для целей оценки финансовой безопасности компаний ряд исследователей, в частности Гукова А.В. [Гукова, 2007], Храпкина В. [Храпкина, 2011], Овсянникова А.А. [Овсянникова, 2016] и др., предлагают использовать индикаторный подход. В качестве индикаторов финансовой безопасности используются классические аналитические показатели, исчисляемые по данным финансовой отчетности, по которым устанавливаются определенные пороговые значения или оценивается динамика. Если показатель находится в пределах установленных пороговых значений или соблюдается позитивная динамика, это свидетельствует об укреплении финансовой безопасности предприятия и снижении внутренних и внешних угроз. Если же показатель не укладывается в пороговое значение или наблюдается негативная динамика, уровень финансовой безопасности оценивается как низкий, характеризующийся наличием финансовых рисков и высокой вероятностью угроз. Классические индикаторы финансовой безопасности подразделяются на пять групп, их обзор и пороговые значения, предлагаемые вышеуказанными исследователями представлены в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Обзор и группировка финансовых индикаторов
экономической безопасности хозяйствующих субъектов
Overview and grouping of financial indicators of economic security of economic entities

Группа	Наименование показателя	Методика расчета	Пороговое значение	Условные обозначения
Индикаторы ликвидности	Коэффициент абс. ликвидности	$(ДС + ДЭ) / КО$	$\geq 0,2$	ДС – денежные средства;
	Коэффициент быстр. ликвидности	$(ДС + ДЭ + КФВ ДЗ) / КО$	≥ 1	ДЭ – денежные эквиваленты;
	Коэффициент тек. ликвидности (общий к-т покрытия)	$ОА / КО$	$\geq 2,0$	КО – краткосрочные обязательства; КФВ – краткосрочные фин. вложения;

Окончание табл. 2
End table 2

Группа	Наименование показателя	Методика расчета	Пороговое значение	Условные обозначения
Индикаторы финансовой устойчивости	Коэффициент фин. Независимости	СК / ВБ	$\geq 0,5$	ДЗ – дебиторская задолженность; СК – собств. капитал; ВБ – валюта баланса; ЗК – заемный капитал; ВНА – внеоборотные активы; ОА – оборотные активы; ДО – долгосрочные обязательства; ЧП – чистая прибыль; СП – себестоимость продаж; ПП – прибыль от продаж; ВР – выручка ССК – средневзвеш. ст-ть капитала; Ks – стоимость капитала, принадлежащего пр-тию (%). Ws – доля своего капитала Kd – стоимость заемного капитала (%). Wd – доля займов в процентах ВИ – валовые инвестиции; АО – амортизационные отчисления
	Коэффициент фин. зависимости	ВБ / СК	$\leq 2,0$	
	Плечо фин. рычага (коэффициент фин. Левериджа)	ЗК / СК	$\leq 1,0$	
	Коэффициент обеспеченности собственными средствами	$(СК - ВНА) / ОА$	$\geq 0,1$	
	Коэффициент маневренности СОС	$(СК + ДО - ВНА) / СК$	$\geq 0,3$	
Индикаторы рентабельности	Рентабельность активов	ЧП / ВБ	Определяется отраслевой спецификой	
	Рентабельность собств. капитала	ЧП / СК		
	Рентабельность продукции	ЧП / СП		
	Рентабельность продаж	ПП / ВР		
Индикаторы оборачиваемости	Оборачиваемость оборотных активов	ВР / ОА средн.	Определяется отраслевой спецификой	
	Коэффициент оборачиваемости СК	ВР / СК средн.		
	Коэффициент оборачиваемости заемного капитала	ВР / ЗК средн.		
	Коэффициент оборачиваемости ДЗ	ВР / ДЗ средн.		
	Коэффициент оборачиваемости КЗ	СП / КЗ средн.		
Индикаторы развития	Темп роста выручки	ВР факт. / ВР базов.	$> 1,0$	
	Темп роста чистой прибыли	ЧП факт. / ЧП базов.	$> 1,0$	
	Темп роста активов	ВБ факт. / ВБ базов.	$> 1,0$	
	Средневзвешенная стоимость капитала	$ССК = Ks * Ws + Kd * Wd$	$< IRR$ внутр. нормы доходности	
	Показатель развития компании	ВИ / АО	$> 1,0$	

Источник: Составлено на основе данных [Овсянникова, 2022; Тимофеева, 2010; Храпкина, 2011]
Source: Compiled by the author based on [Ovsjannikova, 2022; Timofeeva, 2010; Hrapkina 2011]

Усовершенствование системы оценки финансовой безопасности компании выходит за рамки настоящего исследования, в данной работе остановимся лишь на налоговых аспектах. Факторы налогообложения оказывают непосредственное влияние на индикаторы финансовой безопасности организации, поскольку в формулах расчета в структуре той или иной статьи присутствуют налогооблагаемые показатели. В частности, при расчете коэффициентов ликвидности в составе кредиторской задолженности имеет место задолженность по налогам, сборам и страховым взносам. Если заданный показатель ликвидности находится в пределах установленных пороговых значений, то повышенного внимания он не требует, но, если же показатель не соответствует пороговому значению, с помощью методов факторного анализа необходимо определить влияние налогового фактора на итоговый финансовый показатель. При оценке коэффициентов ликвидности, в основе расчета которого положена кратная модель, целесообразно воспользоваться методом формального разложения (1):

$$K_{ал} = (ДС + ДЭ) / КО = (ДС + ДЭ) / (КЗНС + ПКО), \text{ где} \quad (1)$$

$K_{ал}$ – коэффициент абсолютной ликвидности;

КЗНС – кредиторская задолженность по налогам и сборам;

ПКО – остальные краткосрочные обязательства (общая сумма краткосрочных обязательств, за вычетом кредиторской задолженности по налогам и сборам).

Влияние налогового фактора на коэффициент ликвидности может быть произведено с помощью классических способов цепных подстановок, индексного метода, абсолютных и относительных разниц. Соответственно, влияние задолженности по налогам и сборам на коэффициент абсолютной ликвидности можно выразить тождеством (2):

$$\Delta K_{ал} = K_{ал \text{ факт}} - K_{ал \text{ усл.}}, \text{ где} \quad (2)$$

$K_{ал \text{ факт}}$ – фактический коэффициент ликвидности, исчисленный по данным финансовой отчетности;

$K_{ал \text{ усл.}}$ – условное значение коэффициента ликвидности, пересчитанное при отсутствии в составе краткосрочных обязательств задолженности по налогам и сборам.

Если пороговым значением коэффициента абсолютной ликвидности считать значение 0,2, то оптимальной величиной задолженности по налогам и сборам будет являться сумма, исчисляемая формулой (3).

$$ОКЗНС = (ДС + ДЭ) / 0,2 - ПКО, \text{ где} \quad (3)$$

ОКЗНС – оптимальное (максимальное для зоны безопасности) значение кредиторской задолженности по налогам и сборам.

Аналогичные расчеты могут быть произведены в отношении большинства финансовых индикаторов, поскольку налоговые факторы влияют практически на них всех. При расчете коэффициентов финансовой независимости в составе валюты баланса имеют место отложенные налоговые активы и обязательства, суммы исчисленного НДС с авансов и предоплат, которые могут формировать значительную долю активов. При расчете показателей рентабельности для исчисления чистой прибыли определяются показатели себестоимости, в которую входит сумма начисленных страховых взносов и некоторых других налогов, в частности налог на имущество, транспортный, земельный налог и т.д., а также величина начисленного налога на прибыль, уменьшающего финансовый результат до налогообложения до размера чистой прибыли. Таким образом, для оценки налоговой безопасности могут быть использованы адаптированные формулы расчетов, сформированные исходя из индикаторов финансовой безопасности с учетом отраслевых и организационных особенностей. Их использование позволит разработать комплекс мероприятий по оптимизации структуры

активов и пассивов в части налогооблагаемых показателей, что позволит достигать более эффективных результатов и соблюдать тренд устойчивого развития.

Второй аспект налоговой безопасности связан со снижением налоговых рисков, критерии которых разработаны федеральной налоговой службой и утверждены приказом от 30.05.2007 N ММ-3-06/333@. Обзор данных критериев и пороговые значения индикаторов налоговой безопасности представлены в табл. 3.

Таблица 3
Table 3

Индикаторы налоговой безопасности хозяйствующих субъектов,
используемые для самостоятельной оценки рисков
Indicators of tax security of economic entities used for self-assessment of risks

Индикатор	Пороговое значение	Комментарий
Уровень налоговой нагрузки (включая НДС) по отношению к выручке (без НДС)	Утверждается ежегодно по отраслям, например для обрабатывающих производств в 2021 году – 7,4 %, для сельского хозяйства – 4,7% и т.д.	Должен быть выше порогового значения, установленного приложением 3 к приказу от 30.05.07г. N ММ-3-06/333@
Уровень фискальной нагрузки по страховым взносам	Утверждается аналогично, например в 2021 году для строительства 3,6%, для гостиниц и общепита – 5,0%	
Отражение в учете и отчетности убытков более 2 лет подряд	Факт наличия убытка	Свидетельствует о сомнительности источников финансирования деятельности и возможном сокрытии прибыли
Доля налоговых вычетов по НДС	89%. В справочных целях рассчитывается региональный уровень вычетов поквартально, который также принимается в расчет	НДС, подлежащий уплате, должен быть больше 11% от начисленной суммы налога по всем объектам
Превышение темпов роста расходов над темпом роста доходов	Факт превышения, математически выражаемый неравенством: $TrP - TdP > 0$	Свидетельствует о снижении прибыли и эффективности деятельности
Уровень среднемесячной зарплаты	Устанавливается по регионам и отраслям по соответствующим периодам	Выплата ниже среднего уровня свидетельствует о возможной оптимизации страховых взносов и НДС
Приближение к пороговым значениям, допустимых для применения специальных налоговых режимов	150 (200) млн. руб., проиндексированных на коэффициент дефлятор – для применения УСН; 60 млн. рублей для применения патентной системы ИП; 60 млн. рублей для освобождения от НДС при едином сельхоз.налоге и др.	Принимается во внимание приближение до уровня 5%. Данный фактор свидетельствует о потенциальном дроблении бизнеса.
Сумма расходов ИП приближена к величине дохода	Доля расходов более 83%	Свидетельствует о низкой эффективности деятельности ИП и возможном завышении расходов

Окончание табл. 3
End table 3

Индикатор	Пороговое значение	Комментарий
Экономически необоснованное использование «цепочки контрагентов»	Факт построение финансово-хозяйственной деятельности на основе заключения договоров с контрагентами-перекупщиками или посредниками без наличия разумных экономических причин (деловой цели).	Свидетельствует об использовании агрессивных методов налоговой оптимизации путем завышения расходов и «входящего» НДС для уменьшения суммы налогов к уплате
Непредоставление документов и пояснений налоговым органам	Факт непредоставления пояснений, необходимых для осуществления контроля сведений, а также наличие информации об их уничтожении, порче	Свидетельствует о сокрытии фактов агрессивной налоговой оптимизации и незаконных методах снижения налогов
«Миграция» между налоговыми органами	Факт неоднократного снятия с учета и постановки на учет в налоговых органах в связи с изменением места нахождения	Может свидетельствовать об уходе от исполнения налоговой обязанности перед налог. органом
Уровень рентабельности проданных товаров, продукции (работ, услуг)	Утверждается ежегодно по отраслям, например для добычи угля в 2021 году – 50,6 %, для металлургических производств – 27,8 % и т.д.	Должен быть выше порогового значения, установленного приложением 4 к приказу от 30.05.07г. N ММ-3-06/333@
Уровень рентабельности активов	Утверждается аналогично, например в 2021 году для лесозаготовок 10,4%, для пищевых производств – 8,2 % и т.д.	
Ведение деятельности с высоким налоговым риском	Факт отсутствия личных контактов с руководством контрагента; Факт отсутствия интернет-сайта контрагента; Отсутствие информации о складах, производств. площадях, Нерыночные условия договоров, длительные отсрочки, отсутствие оплаты и др. факторов.	Свидетельствуют о возможном отражении не имевших место фактов хозяйственной жизни, притворных сделок, обналичивании денежных средств и получении необоснованной налоговой выгоды.

Источник: Составлено на основе данных [ФНС РФ]

Source: Compiled by the author based on [FNS RF]

Анализ указанных индикаторов позволяет оценить возможную вероятность назначения выездной налоговой проверки в отношении хозяйствующего субъекта, но не в полной мере позволяет оценить налоговый риск, представляющий угрозу налоговой безопасности, поскольку в ряде случаев для назначения проверки необходима значительная сумма доначислений, определяемая налоговым органом в результате предпроверочного анализа, который проводится согласно внутренним методикам ФНС, не являющимися общедоступными. В указанном случае могут быть использованы методики оценки налоговых рисков, предлагаемые Сафроновой М.Ф. [Сафронова, 2014], Тимофеевой И.Ю. [Тимофеева, 2010] и др. Ряд рассмотренных критериев налоговой безопасности, по нашему мнению, подлежат критике, в том числе показатель относительной налоговой нагрузки хозяйствующего субъекта, по мнению ряда исследователей, в частности Кондрашовой Н.Г. [Кондрашова, 2019], Гребешковой И.А. [Гребешкова, 2017] и др., должен рассчитываться без учета НДСЛ,

поскольку по указанному налогу коммерческая организация не является налогоплательщиком, она является налоговым агентом и данный налог включается в затраты компании по статье расходы на оплату труда. Кроме того, ряд среднеотраслевых показателей, в частности средний уровень оплаты труда или средний уровень рентабельности не в полной мере учитывает особенности ведения деятельности именно данного субъекта в конкретных экономических условиях [Попов, 2019]. Также приведенные критерии налоговых рисков в целях оценки налоговой безопасности рекомендуется дифференцировать по субъектам бизнеса, поскольку некоторые критерии являются взаимоисключающими для организаций и индивидуальных предпринимателей, критерий доли расходов в общей сумме доходов применим только для ИП. Кроме того, на оценку налогового риска оказывает влияние применяемая система налогообложения: общая или специальный налоговый режим; соответственно, для спецрежимов не является актуальным критерий касательно доли вычетов НДС, а для общей системы налогообложения не является значимым критерий приближения к пороговым суммам дохода либо численности для применения спецрежимов. Поэтому к числу дальнейших направлений совершенствования оценки налоговой безопасности следует отнести детализацию и уточнение критериев налоговых рисков. В существующих условиях для оценки уровня налоговой безопасности, согласно вышеуказанным критериям, следует определить значимость каждого критерия, значение исчисленного индикатора по соответствующему критерию, определить нахождение его в зоне риска или в зоне безопасности и сделать вывод относительно наличия угрозы налоговой безопасности в аспекте доначисления налогов, а также пени и штрафов в ходе налоговой проверки.

Заключение

Таким образом, по результатам проведенного исследования сформулирован ряд выводов. Многообразие подходов к оценке налоговой безопасности хозяйствующего субъекта требует унификации ее определения. В работе предложено авторское определение налоговой безопасности хозяйствующего субъекта, которую следует оценивать с двух аспектов: с позиции влияния фактора налогообложения на финансовую безопасность и с позиции вероятности угроз доначисления сумм налогов, сборов, пени и штрафов. Первый аспект налоговой безопасности допустимо оценить с помощью адаптированных индикаторов, учитывающих налоговые факторы, в частности наличие задолженности по налогам и сборам в составе кредиторской задолженности, наличие отложенных налоговых активов и обязательств в структуре бухгалтерского баланса и др. Второй аспект налоговой безопасности необходимо оценивать с позиции безрисковой зоны значений индикаторов в отношении формирования налоговой нагрузки, уровня рентабельности, доли вычетов и других общедоступных критериев, предлагаемых налоговыми органами. Соответственно, ведение деятельности в зоне налоговой безопасности позволит хозяйствующим субъектам избежать рисков и угроз, повысить эффективность деятельности и обеспечить тренд устойчивого развития, что окажет благоприятное влияние на экономику государства в целом.

Список источников

Приказ ФНС России от 30.05.2007 N MM-3-06/333@ (ред. от 10.05.2012) "Об утверждении Концепции системы планирования выездных налоговых проверок" // СПС КонсультантПлюс. URL:http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_55729/0e99de4f8c78632cdecab194b60961e9196e0f73/ (дата обращения: 08 февраля 2023).

Список литературы

Азарская М.А., Щербакова Н.В. 2017. Налоговая безопасность организации и ее обеспечение в системе внутреннего контроля. Учет. Анализ. Аудит, 6: 38–49.
Ванюков Н.Ю., Конев А.А. 2018. Налоговая безопасность бизнеса: 128 с.
Воронцов Б.В. 2008. Налоговая безопасность государства и экономических систем. Проблемы современной экономики, 3: 586–588.
Гребешкова И.А. 2017. Тенденции в оценке налоговой нагрузки организаций. Финансы: теория и практика, Т. 21, 3: 189–193.

- Гукова А.В., Аникина И.Д. 2007. Индикаторы финансовой безопасности предприятия. Национальные интересы: приоритеты и безопасность, 2: 49-52.
- Левашенко А.Д., Коваль А.А. 2020. Меры финансовой и нефинансовой поддержки МСП в условиях ситуации с COVID-19. Экономическое развитие России, Т. 27., 5: 66-70.
- Кондрашова Н.Г. 2019. Теоретические и практические аспекты анализа налоговой нагрузки коммерческой организации. Аудит и финансовый анализ, 4: 24-29.
- Костюков А.Н., Маслов К.В. 2015. Правовые аспекты обеспечения налоговой безопасности государства. Вестник Омского университета. Серия «Право», 4(45): 117-121.
- Кривцов А.И. 2012. Концептуальный подход к обеспечению налоговой безопасности организаций. Актуальные проблемы науки, экономики и образования XXI века, 180-185.
- Муравьева Н.Н., Харитonenкова М.В. 2022. Исследование современного состояния малого бизнеса в России. Экономика и бизнес: теория и практика, 7: 153-158.
- Муравлева Т.В. 2018. Налоговая безопасность как составная часть экономической безопасности малого бизнеса. Экономическая безопасность и качество, 1(30): 57-60.
- Налоговая безопасность: монография. 2017. Под ред. д.э.н., профессора О.А. Мироновой. Москва. Изд-во ЮНИТИ-ДАНА: Закон и право, 463 с.
- Небренчин С.М. 2022. Современные гибридные войны: медиасмыслы, технологии, стратегии. Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество, 5-1: 240-242.
- Овсянникова А.А., Зубкова В.И. 2016. Понятие и методика оценки финансовой безопасности предприятия. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Экономика и управление, Т. 2, 3: 82-88.
- Попов А.Ю. 2019. Налоговые расчеты в финансовом учете. Екатеринбург. Издательский дом "Ажур", 184 с.
- Сафонова М.Ф., Резниченко С.М. 2014. Анализ и оценка налоговых рисков в организации. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 101: 1655-1665.
- Тимофеева И.Ю. 2010. Экономический анализ, классификация и оценка налоговых рисков в период декриминализации налоговых отношений. Экономический анализ: теория и практика, 25: 39-46.
- Храпкина В. 2011. Анализ подходов и методов определения финансовой безопасности предприятия. Экономический анализ, 8: 359-364.
- Amaglobeli M.D. et al. 2018 Tax policy measures in advanced and emerging economies: a novel database. International Monetary Fund.
- Burkhauser R.V., Turner J.A. 1985. Is the social security payroll tax a tax? Public Finance Quarterly, Т. 13., 3: 253-267.
- Poltorak A., Volosyuk Y. 2016. Tax risks estimation in the system of enterprises economic security. Economic Annals-XXI, Т. 158., 3-4: 35-38.

References

- Azarskaja M.A., Shherbakova N.V. 2017. Nalogovaja bezopasnost' organizacii i ee obespechenie v sisteme vnutrennego kontrolja [Tax security of the organization and its provision in the internal control system]. Uchet. Analiz. Audit, 6: 38-49.
- Vanjukov N.Ju., Konev A.A. 2018. Nalogovaja bezopasnost' biznesa [Business tax security]: 128 p.
- Voroncov B.V. 2008. Nalogovaja bezopasnost' gosudarstva i jekonomicheskikh sistem. [Tax security of the state and economic systems.] Problemy sovremennoj jekonomiki, 3: 586-588.
- Grebeshkova I.A. 2017. Tendencii v ocenke nalogovoj nagruzki organizacij. [Trends in the assessment of the tax burden of organizations.] Finansy: teoriya i praktika. Т. 21., 3: 189-193.
- Gukova A.V., Anikina I.D. 2007. Indikatory finansovoj bezopasnosti predpriyatija. [Indicators of financial security of the enterprise.] Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'. 2: 49-52.
- Levashenko A.D., Koval' A.A. 2020. Mery finansovoj i nefinansovoj podderzhki MSP v uslovijah situacii s COVID-19. [Measures of financial and non-financial support for SMEs in the context of the COVID-19 situation.] Jekonomicheskoe razvitie Rossii. Т. 27., 5: 66-70.
- Kondrashova N.G. 2019. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty analiza nalogovoj nagruzki kommercheskoj organizacii. [Theoretical and practical aspects of the analysis of the tax burden of a commercial organization.] Audit i finansovyj analiz, 4: 24-29.

- Kostjukov A.N., Maslov K.V. 2015. Pravovye aspekty obespechenija nalogovoj bezopasnosti gosudarstva. [Legal aspects of ensuring the tax security of the state.] Vestnik Omskogo universiteta. Serija «Pravo», 4(45): 117-121.
- Krivicov A.I. 2012. Konceptual'nyj podhod k obespečeniju nalogovoj bezopasnosti organizacij. [A conceptual approach to ensuring the tax security of organizations.] Aktual'nye problemy nauki, jekonomiki i obrazovanija XXI veka, 180-185.
- Murav'eva N.N., Haritonenkova M.V. 2022. Issledovanie sovremennogo sostojanija malogo biznesa v Rossii. [A study of the current state of small business in Russia.] Jekonomika i biznes: teorija i praktika, 7: 153-158.
- Muravleva T.V. 2018. Nalogovaja bezopasnost' kak sostavnaja chast' jekonomicheskoj bezopasnosti malogo biznesa. [Tax security as an integral part of the economic security of small businesses.] Jekonomicheskaja bezopasnost' i kachestvo, 1(30): 57-60.
- Mironova O.A. Nalogovaja bezopasnost': monografija. [Tax security: a monograph.] 2017. Moskva. Publ. JuNITI-DANA: Zakon i pravo, 463 p.
- Nebrenchin S.M. 2022. Sovremennye gibridnye vojny: mediasmysly, tehnologii, strategii. [Modern hybrid wars: media meanings, technologies, strategies.] Bol'shaja Evrazija: razvitie, bezopasnost', sotrudnichestvo, 5-1: 240-242.
- Ovsjannikova A.A., Zubkova V.I. 2016. Ponjatie i metodika ocenki finansovoj bezopasnosti predprijatija. [The concept and methodology of assessing the financial security of the enterprise.] Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni VI Vernadskogo. Jekonomika i upravlenie, T. 2, 3: 82-88.
- Popov A.Ju. 2019. Nalogovye raschety v finansovom uchete. [Tax calculations in financial accounting.] Ekaterinburg. Izdatel'skij dom "Azhar", 184 p.
- Safonova M.F., Reznichenko S.M. 2014. Analiz i ocenka nalogovyh riskov v organizacii. [Analysis and assessment of tax risks in the organization.] Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agramogo universiteta, 101: 1655-1665.
- Timofeeva I.Ju. 2010. Jekonomicheskij analiz, klassifikacija i ocenka nalogovyh riskov v period dekriminalizacii nalogovyh otnoshenij. [Economic analysis, classification and assessment of tax risks during the period of decriminalization of tax relations.] Jekonomicheskij analiz: teorija i praktika, 25: 39-46.
- Hrapkina V. 2011. Analiz podhodov i metodov opredelenija finansovoj bezopasnosti predprijatija. [Analysis of approaches and methods for determining the financial security of the enterprise.] Jekonomicheskij analiz, 8: 359-364.
- Amaglobeli M.D. et al. 2018 Tax policy measures in advanced and emerging economies: a novel database. International Monetary Fund.
- Burkhauser R.V., Turner J.A. 1985. Is the social security payroll tax a tax? Public Finance Quarterly, T. 13., 3: 253-267.
- Poltorak A., Volosyuk Y. 2016. Tax risks estimation in the system of enterprises economic security. Economic Annals-XXI, T. 158., 3-4: 35-38.

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

Попов Алексей Юрьевич, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета и аудита Уральского государственного экономического университета, Екатеринбург, Россия

Чепулянис Антон Владимирович, кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и аудита Уральского государственного экономического университета, Екатеринбург, Россия

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Aleksey Yu. Popov, Candidate of Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Accounting and Auditing, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

Anton V. Chepulyanis, Candidate of Economics, Associate Professor of the Department of Accounting and Auditing, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

УДК338.43
DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-357-366

Современная архитектура организации льготного финансирования агробизнеса

Соловьева Н.Е.

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

Аннотация. Целью статьи является обоснование организации льготного финансирования агробизнеса в России. Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены задачи по проведению анализа мер государственной поддержки для АПК, раскрытию финансирования проектов агробизнеса, анализа структуры баланса коммерческого банка АО «Россельхозбанк», который предоставляет льготные кредиты на цели развития подотраслей растениеводства, животноводства, переработки продукции растениеводства и животноводства в соответствии с перечнями, утвержденными приказами Минсельхоза России от 09.07.2019 № 388 и 389. Результаты исследования выявили необходимость государственной поддержки в области льготного финансирования агробизнеса. Научной новизной исследования является формирование современной организации льготного финансирования агробизнеса, оказывающей влияние на элементы системы кредитования с применением государственной поддержки. В статье представлен коммерческий банк АО «Россельхозбанк», который является ведущим банком по кредитованию аграриев. Проанализирована структура доходных активов и аналитика АО «Россельхозбанк» по степени обеспеченности выданных кредитов, а также их структуре, маркетплейс, а также представлен размер льготного краткосрочного кредита, предоставляемый заемщику на территории каждого субъекта РФ. Автор в статье представил модель системы кредитования предприятий АПК, где подчеркнул взаимосвязь всех элементов.

Ключевые слова: агробизнес, агропроизводства, государственная поддержка, коммерческий банк, модель системы кредитования, кредитование сельскохозяйственных организаций

Для цитирования: Соловьева Н.Е. 2023. Современная архитектура организации льготного финансирования агробизнеса. Экономика. Информатика, 50(2): 357–366. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-357-366

Modern Architecture of the Organization of Preferential Financing of Agribusiness

Natalia E. Solovjeva

Belgorod National Research University
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: solovjeva@bsu.edu.ru

Abstract. The purpose of the article is to justify the organization of preferential financing of agribusiness in Russia. To achieve this goal, the tasks of analyzing state support measures for the agro-industrial complex, disclosing financing for agribusiness projects, analyzing the balance sheet structure of the commercial bank Rosselkhozbank JSC, which provides preferential loans for the development of sub-sectors of crop production, animal husbandry, processing of crop production and animal husbandry in accordance with the lists approved by orders of the Ministry of Agriculture of Russia of 09.07.2019 No. 388 and 389, were formulated and solved. The results of the study revealed the need for state support in the field of preferential financing of agribusiness. The results of the study revealed the need for state support in the field of preferential financing of agribusiness. The scientific novelty of the study is the formation of a modern organization of preferential financing of agribusiness, which influence the elements of the lending system using state support. The article presents the commercial bank JSC Rosselkhozbank, which is the leading bank for lending to farmers. The structure of profitable assets and analyst of Rosselkhozbank JSC was analyzed by the degree of security of loans issued, as well as their structure, marketplace, and also presented: the size of a preferential short-term loan provided to the borrower on the territory of each

constituent entity of the Russian Federation. The author in the article presented a model of the credit system for agricultural enterprises, where he emphasized the interconnection of all elements.

Keywords: agribusiness, guarantor, borrower, loan, lender, commercial bank, credit system, agricultural organizations

For citation: Solovjeva N.E. 2023. Modern Architecture of the Organization of Preferential Financing of Agribusiness. Economics. Information technologies, 50(2): 357–366 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-357-366

Введение

На современном этапе развития система кредитования нуждается в доработке целей обеспечения надежной финансовой поддержки агробизнеса. Поэтому актуальность статьи обуславливается потребностью модернизации функционирующей системы кредитования аграриев.

Цель статьи заключается в обосновании организации льготного финансирования агробизнеса в России.

Агропромышленный комплекс отвечает за экономическую безопасность страны. Поэтому в настоящее время возрастает необходимость в финансовом обеспечении отраслей сельского хозяйства.

С целью предложения поддержки агробизнесу в удовлетворении их финансовых ресурсов госорганы разработали различные программы господдержки, а также льготные банковские продукты в виде системы кредитования для сельскохозяйственных организаций в зависимости от их потребностей и целей [Alston, 2000]. Зачастую агропроизводителям для развития бизнеса не хватает собственных средств и тогда для решения данной проблемы им необходимо привлечение заемных средств.

Данные банковские продукты осуществляют специализированные банки. Одним из лидеров по кредитной поддержке агробизнеса является АО «Россельхозбанк». Несмотря на современную систему кредитования агробизнеса, существуют проблемы и недоработки: отсутствие целостности кредитной системы в области, начиная от заявки на кредит, обслуживания сельскохозяйственных товаропроизводителей, отвечающих современным требованиям и заканчивая подписанием и выдачей кредита.

Исходя из этого, можно предположить, что именно на примере таких банков, как АО «Россельхозбанк» будет развита система кредитования сельскохозяйственных организаций.

Объекты и методы исследования

В исследовании были использованы современные методы научного познания, такие как сравнительный анализ, экономико-статистический методы, анализ и синтез полученной информации, графическая интерпретация. Методической и теоретической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых и специалистов по теме исследования.

При проведении анализа исследования использовались статистические и отчетные данные, которые позволили сделать вывод о том, что с помощью льготного кредитования могут быть достигнуты такие цели, как развитие экономического роста сельскохозяйственного производства, а, следовательно, решение продовольственной безопасности государства, увеличение вклада аграрного сектора в российскую экономику [Соловьева, 2022].

Результаты и их обсуждение

Сельскохозяйственные товаропроизводители большое влияние оказывают на обеспечение продовольственной безопасности государства продуктами питания. На выращивание сельскохозяйственных продуктов влияют следующие факторы: особенности почвы, климатические особенности, сезонность, нехватка оборотных средств, износ основных средств. В связи с этим предприятиям АПК необходимы дополнительные финансовые ресурсы, которыми могут быть и кредитные ресурсы.

В настоящее время в России для развития агропроизводства разработаны меры государственной поддержки (рис.1). Например, субсидирование госпрограммы развития

сельского хозяйства России в 2023 году равно примерно 337,354 млрд рублей, что на 32,6176 млрд рублей больше. В 2024 году планируется выделить финансов 332,1492 млрд рублей (на 5,2117 млрд рублей больше), в 2025 году – 240,1581 млрд рублей (на 87,055 млрд рублей меньше по сравнению с показателями объема расходов, установленных бюджетным прогнозом) [Информация о максимальном размере, 2023].

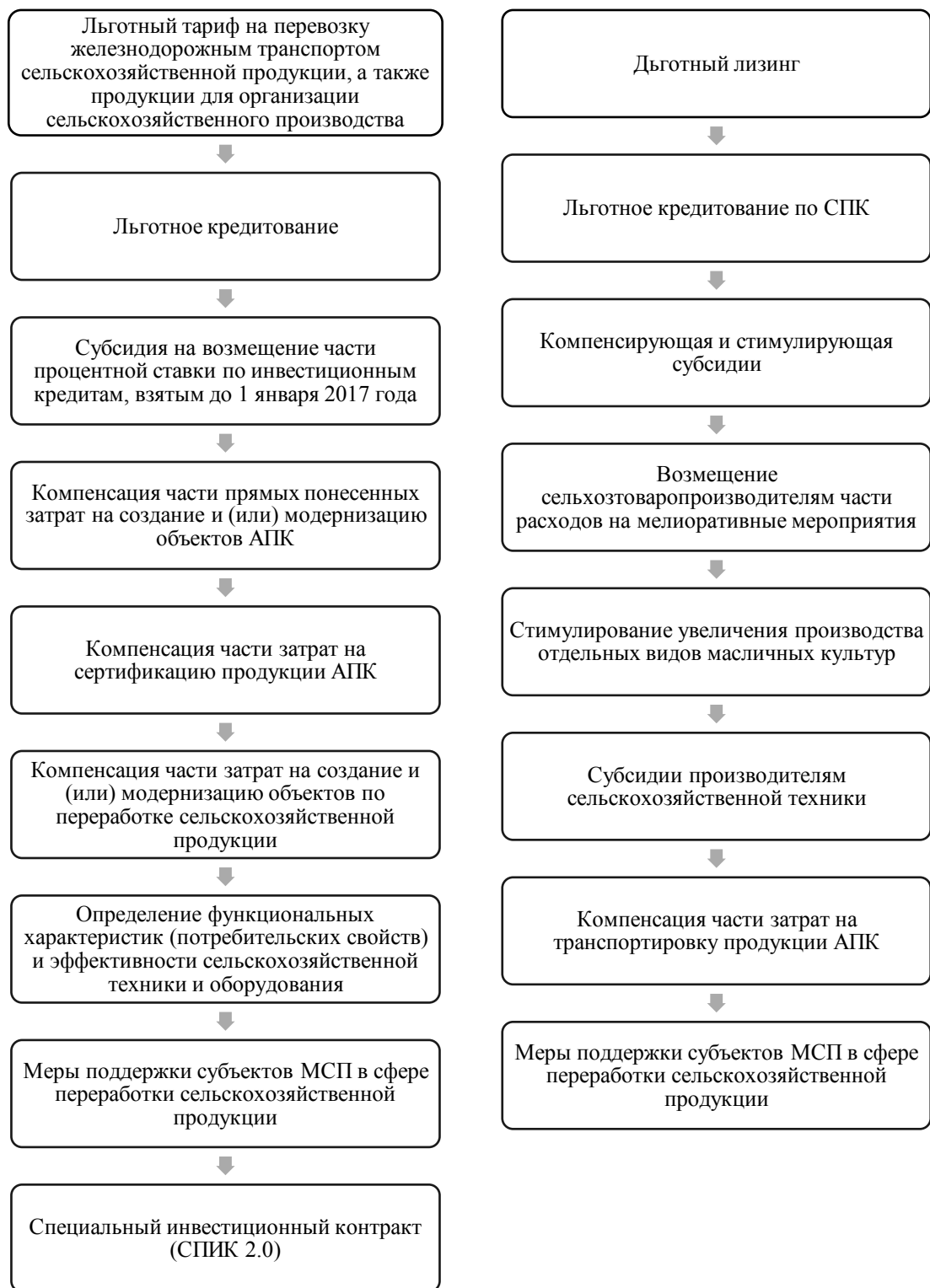


Рис. 1. Меры государственной поддержки для АПК [Постановление Правительства, 2023]
Fig. 1. Measures of state support for agriculture [Government Decree, 2023]

В целях сбора и анализа информации о реализации мероприятий гос. программы РФ «Комплексное развитие сельских территорий» департамент собирает информацию с

поставленным сроком до 10 марта 2023 года представить информацию об итогах реализации мероприятий. Таким образом, анализ данных позволит сделать выводы и на будущее запланировать эффективные мероприятия. [Постановление Правительства РФ, 2023]. Рассмотрев меры государственной поддержки для АПК, формируется необходимость в отношениях между предприятиями АПК и государством, которые должны носить предписывающий характер в качестве распоряжений, отражая степень государственной поддержки [Маслова, 2016]. Следовательно, образуется необходимость выделить финансирование проектов в агробизнесе (рис.2).

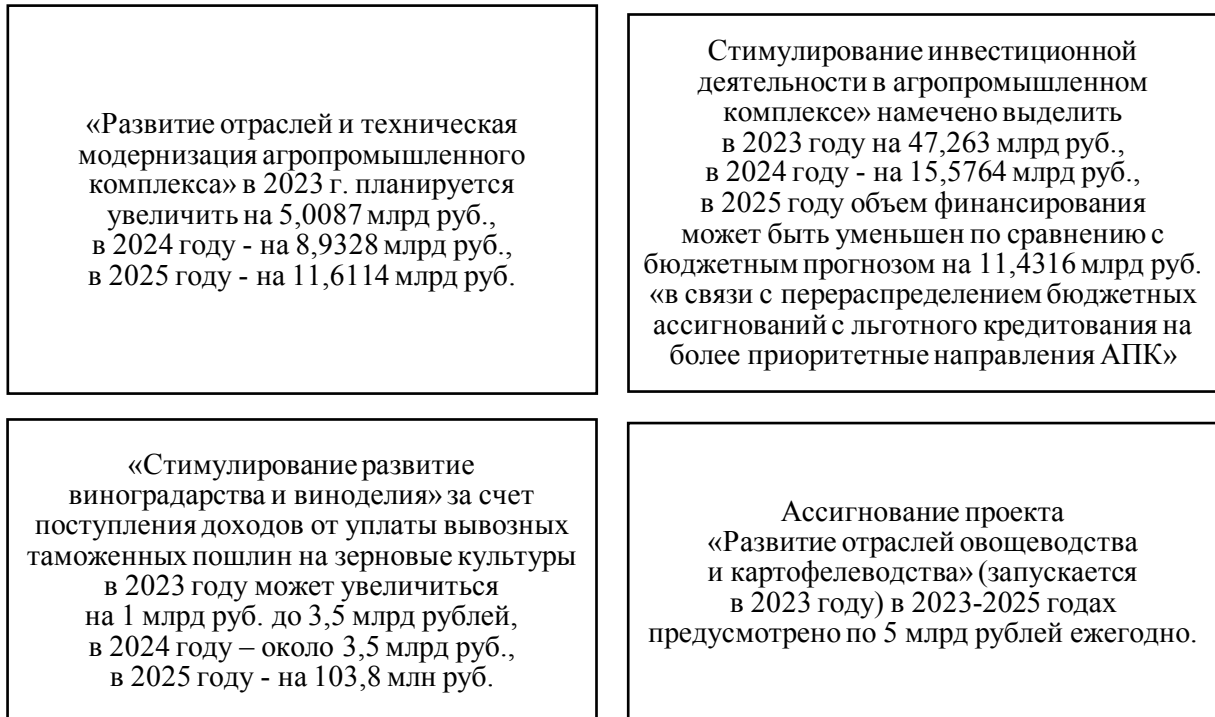


Рис. 2. Финансирование проектов в агробизнесе на 2023 г. и 2024-2025 гг.
[Финансирование российского АПК, 2023]

Fig. 2. Financing of projects in agribusiness for 2023 and 2024-2025
[Financing of the Russian agro-industrial complex, 2023]

Так, например, с 1 января 2023 г. для животноводов внедряется новый вид поддержки в виде субсидии для возмещения части затрат на выращивание крупного рогатого скота и последующее производство продукции, на эту меру на следующий год предусмотрено 600 млн руб. [Правительство выделит..., 2023].

В октябре 2022 года Минсельхоз России отобрал российские кредитные организации в качестве уполномоченных банков на заседании Комиссии по координации вопросов кредитования агропромышленного комплекса следующие банки: АО «Россельхозбанк», АКБ «Энергобанк» (АО), ПАО «Меткомбанк», «Азиатско-Тихоокеанский Банк» (АО), АО «Экспобанк», ПАО «НБД-Банк», АКБ «Фора-Банк» (АО), КБ «Энерготрансбанк» (АО) [Финансирование российского АПК, 2023].

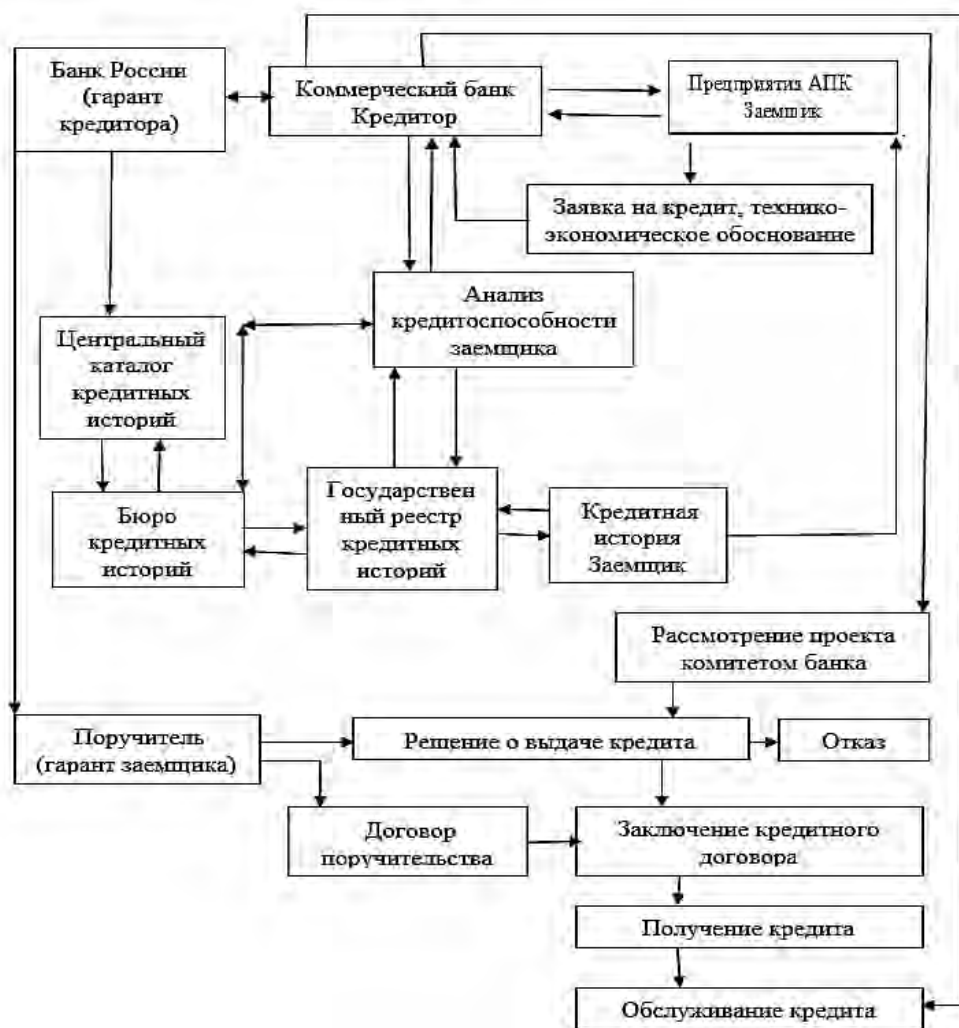
Следовательно, действующая банковская система должна способствовать сельскохозяйственным товаропроизводителям модернизировать свою деятельность и развиваться с помощью инноваций и цифровизации на основе активного функционирования коммерческих банков через кредитование [Виноходова, 2017].

Так государственные органы выделили главным коммерческим банком АО «Россельхозбанк», который должен обеспечивать обслуживание сельскохозяйственных товаропроизводителей с помощью господдержки.

В настоящее время функционирует общая система кредитования. Система кредитования представляет собой концепцию финансово-экономических взаимоотношений, которые

формируются в процессе движения ссудного капитала к заемщику [Дорожкина, Суворина, 2017].

Рассмотрим модель кредитования для предприятий АПК (рис. 3).



Примечание. Составлено автором

Рис. 3. Модель системы кредитования предприятий АПК
Fig. 3. Model of the credit system for agricultural enterprises

Представленная модель системы кредитования предприятий АПК состоит из следующих участников:

1. коммерческий банк в качестве кредитора;
2. предприятия АПК в качестве заемщика, которые берут финансовые средства для реализации своих проектов;
3. органы, обеспечивающие надзор и координатор за кредитной деятельностью коммерческих банков, финансовых институтов и т.д. (Банк России, Министерство финансов РФ);
4. органы, осуществляющие господдержку (Министерство сельского хозяйства РФ).

Из анализа модели системы кредитования агробизнеса пришли к выводу, что все элементы находятся во взаимозависимости друг от друга, где главным элементом является Банк заемщик, который выдает кредит.

Для положительного решения (одобрения банком кредита) заемщику (предприятия АПК) необходимо иметь хорошую кредитную историю. Коммерческий банк оформляет и вносит кредитную историю в государственный реестр. Любой коммерческий банк может с ней ознакомиться. Коммерческий банк-кредитор, прежде чем принять решения о выдаче или отказе, делает запрос в бюро кредитных историй, который записывает кредитные истории – Банк России. Также Банк России функционирует как орган надзора за деятельностью коммерческого банка (заемщика) [Землякова, Исаева, 2020].

Существует большой минус, если предприятия АПК ни разу не обращалась в кредитную организацию и у нее нет ни отрицательной, ни положительной кредитной истории. Поэтому формируется необходимость в таком элементе как гарант. Банк России в данной системе является в качестве гаранта, который гарантирует безопасность операции (сделки), тем самым у него формируется обязанность нести ответственность за коммерческий банк со стороны кредитора и с другой стороны выступает параллельно в качестве поручителя со стороны заемщика. Банк России выступает поручителем для заемщика и выдает гарантии коммерческому банку, то есть предоставляет обязательство в случае мажорных обстоятельств об уплате денежных сумм кредитору, где формируются доверительные отношения между всеми участниками сделки и тем самым повышает безопасность и качество сделки [Шик, Серова, Янбых, 2020].

Главным банком, осуществляющим льготное кредитования сельскохозяйственных организаций, является АО «Россельхозбанк».

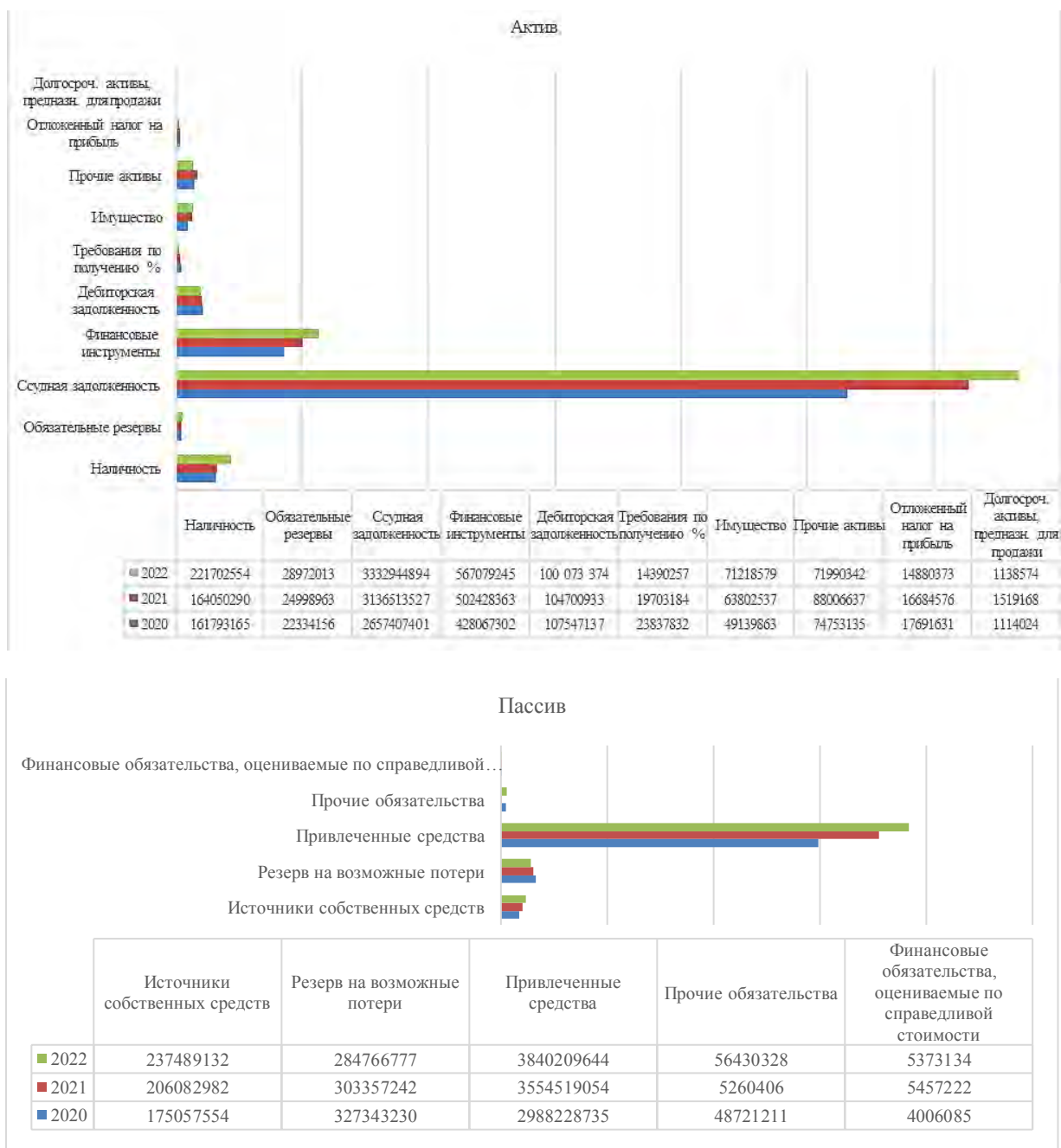


Рис. 4. Структура баланса АО «Россельхозбанк», тыс. руб.

[Финансовая отчетность АО «Россельхозбанк», 2023]

Fig. 4. Balance sheet structure of JSC "Rosselkhozbank", thousand rubles.

[Financial statements of JSC "Rosselkhozbank", 2023]

Проанализировав структуру баланса АО «Россельхозбанк» (рис. 4), обнаружили что наибольшую долю в активах банка составила ссудная задолженность 75.3%, где можно наблюдать увеличение за рассматриваемый период на 675 537 493 тыс. руб., в т.ч. кредиты и прочие размещенные средства – 75.3%, кредиты юр. лицам и индивидуальным предпринимателям – 53.7%, свыше 1 года – 36.6%.

Банк акцентирует внимание на кредитовании юридических лиц, формой обеспечения которого признаются имущественные залоги (рис. 5). Следовательно, общий уровень обеспеченности кредитов достаточно высок и возможный невозврат кредитов, вероятно, будет возмещен объемом обеспечения [Финансовая отчетность АО «Россельхозбанк», 2023].

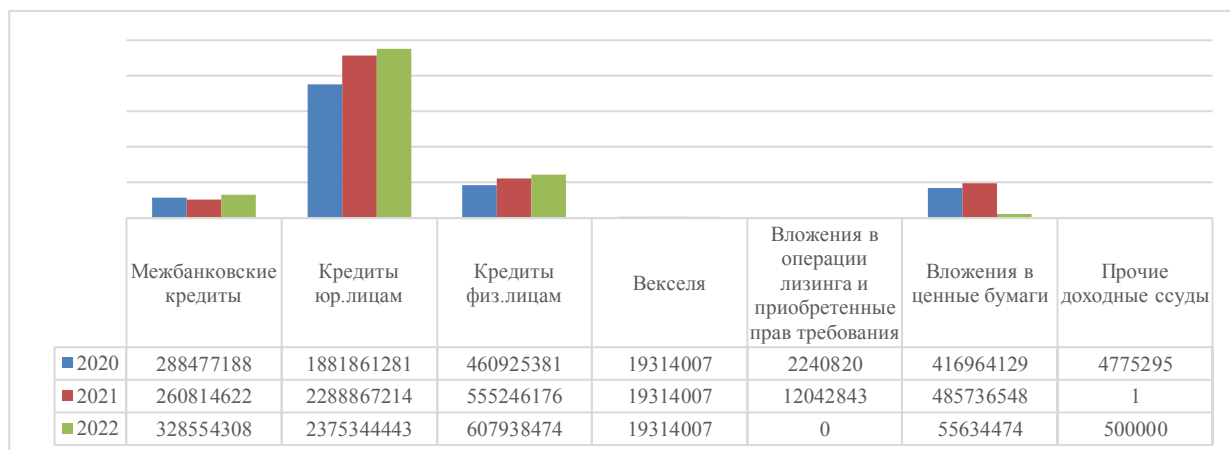


Рис. 5. Структура доходных активов АО «Россельхозбанк»
[Финансовая отчетность АО «Россельхозбанк», 2023]

Fig. 5. Structure of income assets of JSC "Rosselkhozbank"
[Financial statements of JSC "Rosselkhozbank", 2023]

Анализ выявил, что незначительно изменились суммы кредитов юр.лицам, кредиты физ.лицам, векселя, вложения в ценные бумаги, увеличились суммы межбанковские кредиты, сильно уменьшились суммы вложения в операции лизинга и приобретенные прав требования, а общая сумма доходных активов увеличилась на 7.2% с 3638.94 до 3900.02 млрд руб.

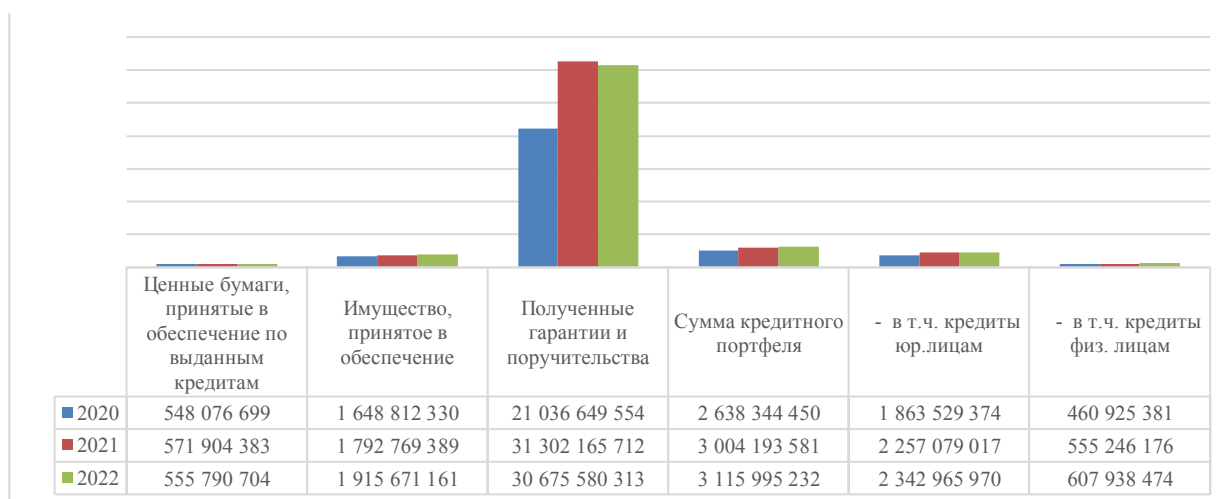


Рис. 6. Аналитика АО «Россельхозбанк» по степени обеспеченности выданных кредитов, а также их структуре, тыс. руб. [Финансовая отчетность АО «Россельхозбанк», 2023]

Fig. 6. Analysis of JSC "Rosselkhozbank" on the degree of security of loans issued, as well as their structure, thousand rubles. [Financial statements of JSC "Rosselkhozbank", 2023]

Исследование дает возможность допустить, что Банк формирует акцент на кредитовании юридических лиц, конфигурацией обеспечения которого признаются имущественные залоги и в особенности кредитования корпоративных заемщиков на приобретения

сельскохозяйственной техники. Общий уровень обеспеченности кредитов довольно высок и вероятность невозврата кредитов, скорее всего, будет возмещена объемом обеспечения [Российский статистический ежегодник. 2022].

Следует выделить, что в настоящее время льготное кредитование показало себя как один из функционирующих механизмов государственной поддержки агропроизводителей.

Банк предоставляет линейку банковских продуктов для агробизнеса:

– льготный кредит на развитие со ставкой до 5% на сумму до 30 млн. руб. на покупку транспортных средств, оборудования и сельскохозяйственной техники, животных и земельных участков;

– микро АПК – принятие решения от 3 рабочих дней, сокращенный перечень предоставляемых клиентом документов, возможность беззалогового кредитования; льготная ставка кредитования до 5% годовых;

– онлайн-платформа «Свое фермерство», которая объединяет современные решения для фермеров: продажа и покупка товаров, модернизация вашего бизнеса, поиск сотрудников, льготное финансирование.

Данная платформа имеет более 20 агросервисов, «школа фермера» предлагает формат обучения в виде профессиональной переподготовке, маркетплейс, более 2000 000 товаров (рис. 7) [Россельхозбанк. Маркетплейс, 2023].



Рис. 7. Маркетплейс АО «Россельхозбанк» [Россельхозбанк. Маркетплейс, 2023]
Fig. 7. Marketplace of JSC "Rosselkhozbank" [Rosselkhozbank. Marketplace, 2023]

Таким образом, главным направлением деятельности АО «Россельхозбанк» в рамках осуществления Госпрограммы развития сельского хозяйства признается финансирование инвестиционных проектов, включающих организацию по строительству новых объектов или реконструкции действующих объектов, а также модернизацию объектов таких, как теплицы (эко), животноводческие комплексы, пасеки и т.д.

С 1 января 2023 Министерство сельского хозяйства РФ разместило на сайтах правила предоставления кредитов и об уполномоченных банках, где прописан максимальный размер льготного краткосрочного кредита в соответствии с регионом [Информация о максимальном размере, 2023].

Так, например, для развития растениеводства кредит может составить в I квартале 2023 года от 20 до 600 млн рублей, а на переработку такой продукции от 10 до 600 млн рублей. Но нельзя забывать о барьерах, которые влияют на функционирование кредитных отношений: высокие процентные ставки, пробелы в законодательстве, сезонность производства, непрерывность процесса производства. Особенности кредитования аграрного производства, как и любой другой отрасли экономики, находят свое выражение в виде условий предоставления кредита, которые отражаются в кредитном договоре [Vaganova, 2020].

Заключение

Таким образом, проведенное исследование основных направлений банковского кредитования агробизнеса в России, в том числе в рамках реализации механизма льготного кредитования сельскохозяйственных товаропроизводителей, показал, что, во-первых, прослеживается результативность и эффективность от банковских кредитов, предоставленных агропроизводителям при одновременном увеличении объема выданных кредитов в целом

по стране, во-вторых, система льготного кредитования признается одной из эффективных форм государственной поддержки агробизнеса.

Исследуя модель системы кредитования агробизнеса, выявили, что главными элементами являются: агробизнес (заемщик), коммерческий банк (кредитор), «Банк России» выступает контролирующим органом, поручителем, гарантом. Также необходимо чтобы в данной системе функционировали вспомогательные элементы и инструменты такие, как элемент (бюро кредитных историй), кредитная история, инструмент (кредитный договор), договор поручительства. Все элементы должны взаимодействовать между собой и дополнять друг друга.

Подводя итоги необходимо отметить, что за последние несколько лет, благодаря господдержке и льготному кредитованию, субсидированию процентной ставки по кредитам, можно наблюдать развитие агробизнеса в России.

Список источников

- Информация о максимальном размере льготного краткосрочного кредита, предоставляемого одному заемщику на территории каждого субъекта Российской Федерации. 2023. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/6c0/6c0addffb75b343a714cd926dd8ac431.pdf>. (дата обращения: 03.02.2023)
- Открытый бюджет. Результаты рейтинга субъектов Российской Федерации по уровню открытости бюджетных данных в 2014 году. URL: <https://ac-forum.ru/infopotok/5510806/>. (дата обращения: 03.02.2023)
- Постановление Правительства Российской Федерации от 31 мая 2019 г. № 696 (Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Комплексное развитие сельских территорий" и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации). URL: <https://base.garant.ru/72260516>. (дата обращения: 03.02.2023)
- Правительство выделит в 2023 году 600 млн рублей на новый вид субсидии для животноводов. URL: <https://otr-online.ru/news/pravительство-vydelit-v-2023-godu-600-mln-rublej-na-novyy-vid-subsidii-dlya-zhivotnovodov-208130.html>. (дата обращения: 03.02.2023)
- Приказ Минсельхоза России от 09.07.2019 № 388. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minselkhoza-rossii-ot-09072019-n-388-ob-utverzhdenii/> (дата обращения: 03.02.2023)
- Россельхозбанк. Маркетплейс Своё Фермерство от Россельхозбанка запускает коробочные решения по продвижению товаров для АПК. URL: <https://old.rshb.ru/news/543963/> (дата обращения: 03.02.2023)
- Российский статистический ежегодник. 2022: Стат.сб./Росстат. -М., 2022 – 691 с.
- Финансирование российского АПК в 2023 году может вырасти на 32,6 млрд рублей. URL: <https://www.interfax.ru/business/864952>. (дата обращения: 03.02.2023)
- Финансовая отчетность АО «Россельхозбанк», 01.01.2023. <https://www.e-disclosure.ru/portal/files.aspx?id=3207&type>. (дата обращения: 03.02.2023)
- Центральный банк России. URL: <https://cbr.ru/>
- <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/6c0/6c0addffb75b343a714cd926dd8ac431.pdf>. (дата обращения: 03.02.2023)
- Delovov profil. Рейтинг крупнейших АПК в России: перспективы полного импортозамещения, тенденции развития 2022. АО АК «Деловой профиль». - Москва. - 2022: 27. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rejting-krupneyshikh-apk-v-rossii-perspektivy-polnogo-importozameshcheniya-tendentsii-razvitiya-2022/>. (дата обращения: 03.02.2023)

Список литературы

- Виноходова И.Г. 2019. Современная политика кредитования в сфере АПК, 2019. Известия Великолукской ГСХА, 1: 38-41.
- Дорожкина Н.И., Суворина Ю.С. 2017. Особенности кредитования сельскохозяйственных производителей. Социально-экономические явления и процессы, 12 (5): 41-47.
- Землякова С.Н., Исаева Г.В. 2020. Совершенствование системы кредитования сельскохозяйственных организаций. Вестник алтайской академии экономики и права, 8 (1): 61-64.
- Маслова В.В. 2016. Инструменты финансирования инвестиционных проектов в АПК. Никоновские чтения, М., 2016. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/instrumentyfinansirovaniya-investitsionnyh-proektov-varp/viewer>. (дата обращения: 03.02.2023)
- Соловьева Н.Е. 2022. Финансовый механизм осуществления государственной поддержки агропроизводителей. Научный результат. Экономические исследования, 8(1): 99-108. DOI: 10.18413/2409-1634-2022-8-1-0-10.
- Шик О.В., Серова Е.В., Янбых Р.Г. 2020. Исследование системы бюджетной поддержки аграрного сектора в России. Вопросы государственного и муниципального управления, 2: 145-165.



- Alston J., Chan-Kang C., Marra M., Pardey P. & Wyatt T. A. 2000. Meta-Analysis of Rates of Return to Agricultural R&D. Research Report 133. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C. 2000.
- Vaganova O. V., Solovjeva N. E., Polukhin O. N., Zakharov V.M., Zabnina G. G., Lesovik R. V., Lesovaya S. L., Ageykina M.E. 2020. Analysis of Supply Chain in Investment Activity in the Russian Agricultural Complex. International Journal of Supply Chain Management, 9(5): 1615-1622.

References

- Vinokhodova I.G. 2019. Modern lending policy in the agricultural sector, Izvestiya Velikiye Luki GSHA, 1: 38-41. (in Russian)
- Dorozhkina N.I., Suvorina Y.S. 2017. Features of lending to agricultural producers. Socio-economic phenomena and processes, Vol. 12 (5): 41-47. (in Russian)
- Zemlyakova S.N., Isaeva G.V. 2020. Improving the system of crediting agricultural organizations. Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law, 8 (1):61-64. (in Russian)
- Maslova V.V. 2016. Instruments for financing investment projects in the agro-industrial complex. Nikonovskie readings, M., 2016. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/instrumentyfinansirovaniya-investitsionnyh-proektov-vapk/viewer>. (Accessed: 03.02.2023) (in Russian)
- Solovjeva N.E. A financial mechanism of state support for agricultural producers. Research Result. Economic Research, 8(1), 99-108. DOI: 10.18413/2409-1634-2022-8-1-0-10 (in Russian)
- Shik O.V., Serova E.V., Yanbykh R.G. 2020. Research of the system of budgetary support of the agricultural sector in Russia. Questions of State and Municipal Administration, 2: 145-165. (in Russian)
- Alston J., Chan-Kang C., Marra M., Pardey P. & Wyatt T. A. 2000. Meta-Analysis of Rates of Return to Agricultural R&D. Research Report 133. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C. 2000.
- Vaganova O.V., Solovjeva N.E., Polukhin O.N., Zakharov V.M., Zabnina G.G., Lesovik R.V., Lesovaya S.L., Ageykina M.E. 2020. Analysis of Supply Chain in Investment Activity in the Russian Agricultural Complex. International Journal of Supply Chain Management, 9(5): 1615-1622.

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

Соловьева Наталья Евгеньевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры инновационной экономики и финансов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Natalia E. Solovjeva, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Innovative Economics and Finance, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 519.862.6

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-367-379

Оценивание параметров неэлементарных линейных регрессий методом наименьших квадратов

Базилевский М.П.

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

Аннотация. Статья посвящена проблеме оценивания неэлементарных линейных регрессий методом наименьших квадратов. Предложено их обобщение – неэлементарные линейные регрессии с линейным аргументом в бинарной операции. Рассмотрено три вида неэлементарных линейных регрессий: с произвольными угловыми коэффициентами в бинарных операциях, с единичными угловыми коэффициентами и произвольными свободными членами, с произвольными угловыми коэффициентами и свободными членами. Для каждого вида предложен алгоритм численного оценивания. На основе алгоритмов разработана программа численного оценивания неэлементарных линейных регрессий методом наименьших квадратов (НЕЭЛИН). Рассмотрен алгоритм работы программы, в котором параметры моделей хранятся в виде трехмерного массива данных. Показано, как нужно задавать структуру модели в НЕЭЛИН. С помощью программы НЕЭЛИН проведено моделирование железнодорожных грузовых перевозок Республики Башкортостан. Полученная в результате неэлементарная линейная регрессия оказалась лучше по качеству, чем модели, полученные традиционными инструментами.

Ключевые слова: неэлементарная линейная регрессия, бинарная операция, метод наименьших квадратов, численное оценивание, программное обеспечение, мультиколлинеарность, интерпретация, железнодорожные грузоперевозки

Для цитирования: Базилевский М.П. 2023. Оценивание параметров неэлементарных линейных регрессий методом наименьших квадратов. Экономика. Информатика, 50(2): 367–379. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-367-379

Estimation Non-Elementary Linear Regressions Parameters Using Ordinary Least Squares Method

Mikhail P. Bazilevskiy

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

Abstract. This article is devoted to the problem of non-elementary linear regressions estimation by the ordinary least squares method. Their generalization is proposed - non-elementary linear regressions with a linear argument in a binary operation. Three types of non-elementary linear regressions are considered - with arbitrary slopes in binary operations, with unit slopes and arbitrary free terms, and with arbitrary slopes and free terms. For each type, a numerical estimation algorithm is proposed. Based on the algorithms, a program for the numerical estimation of non-elementary linear regressions by the ordinary least squares method (NEELIN) was developed. The algorithm of the program operation, in which the parameters of the models are stored in the form of a three-dimensional data array, is considered. It is shown how to set the model structure



in NEELIN. With the help of the NEELIN program, modeling of rail freight traffic in the Republic of Bashkortostan was carried out. The resulting non-elementary linear regression proved to be better in quality than the models generated by traditional tools.

Keywords: non-elementary linear regression, binary operation, ordinary least squares, numerical estimation, software, multicollinearity, interpretation, rail freight

For citation: Bazilevskiy M.P. 2023. Estimation Non-Elementary Linear Regressions Parameters Using Ordinary Least Squares Method. Economics. Information technologies, 50(2): 367–379 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-367-379

Введение

Методы регрессионного анализа [Keith, 2019; Gelman et al., 2020] активно развиваются в настоящее время и находят широкое применение в различных отраслях науки. Так, в работе [Karakurt, Aydin, 2023] предложены регрессионные модели для прогнозирования выбросов углекислого газа в странах БРИКС, в [Wang et al., 2022] исследуются характеристики различных регрессионных моделей для диагностики рака молочной железы по данным РНК-секвенирования, в [Luo et al., 2022] предложены модели прогнозирования электрической нагрузки в энергетической отрасли, в [Tian et al., 2022] проведен анализ распространения риска в финансовом секторе Китая на основе новой квантильной копулярной GARCH регрессии, в [Gao et al., 2022] предлагается географически взвешенная регрессионная модель зависимости особенностей застроенной среды от пассажиропотока метро в городе Шэньчжэнь.

Как известно, процесс построения регрессионной модели состоит из нескольких этапов. Возможно, ключевым из них является этап выбора структурной спецификации регрессии – состава переменных и математической формы связи между ними. Спецификаций регрессионных моделей существует много (см., например, [Клейнер, 1986; Базилевский, Носков, 2017; Keith, 2019; Носков, Хоняков, 2019; Gelman et al., 2020]). Универсального метода выбора лучшей из них нет. К тому же новой тенденцией в машинном обучении становится построение интерпретируемых моделей [Molnar, 2020; Du et al., 2019]. Так, в [Letzgs et al., 2022] рассмотрены методы объяснимого искусственного интеллекта для регрессионных моделей.

Проблема поиска новых спецификаций регрессионных моделей с интересными свойствами актуальна и по сей день. В работах [Базилевский, 2020, 2021] автором предложены и исследованы неэлементарные линейные регрессии (НЛР) с бинарными операциями $\min$, а в [Базилевский, 2022a] введена НЛР с бинарными операциями $\min$ и $\max$:

$$y_i = \alpha_0 + \sum_{j=1}^l \alpha_j x_{ij} + \sum_{j=1}^p \alpha_j^{\min} \min\{x_{i,\mu_{j1}}, k_j^{\min} x_{i,\mu_{j2}}\} + \sum_{j=1}^p \alpha_j^{\max} \max\{x_{i,\mu_{j1}}, k_j^{\max} x_{i,\mu_{j2}}\} + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где n – объем выборки; l – число входных переменных; y_i – i -е значение выходной переменной; x_{ij} – i -е значение j -й входной переменной; $\min$ ($\max$) – бинарные операции, возвращающие минимум (максимум) двух чисел; $p = C_l^2$ – число всех возможных комбинаций пар входных переменных; $\mu_{j1}, \mu_{j2}, j = \overline{1, p}$ – элементы первого и второго столбца матрицы M размера $p \times 2$, содержащей по строкам в лексикографическом порядке индексы всех возможных комбинаций пар входных переменных; $\alpha_j, j = \overline{0, l}, \alpha_j^{\min}, \alpha_j^{\max}, k_j^{\min}, k_j^{\max}, j = \overline{1, p}$ – неизвестные параметры; ε_i – i -я ошибка аппроксимации.

Стоит сделать следующие замечания касательно НЛР (1).

1. НЛР (1) содержит слишком много неизвестных параметров – $l+1+4C_l^2$ штук. Если $l=3$, то их число уже равно 16. Поэтому для оценки модели (1) потребуется выборка довольно крупного объема. В этой связи в [Базилевский, 2021] предложены алгоритмы отбора в уравнении (1) только информативных регрессоров.

2. НЛР (1) является нелинейной по параметрам. Но если придать параметрам $k_j^{\min}$, $k_j^{\max}$, $j = \overline{1, p}$ определенные значения, то она становится линейной по параметрам α_j , $j = \overline{0, l}$, $\alpha_j^{\min}$, $\alpha_j^{\max}$. В таком случае для оценивания можно воспользоваться традиционным методом наименьших квадратов (МНК).

3. Если в НЛР (1) назначить параметрам $k_j^{\min}$, $k_j^{\max}$, $j = \overline{1, p}$ слишком большие или слишком малые значения, то в некоторых или во всех бинарных операциях $\min$ и $\max$ сработает только одна переменная, что в итоге приведет к эффекту совершенной мультиколлинеарности, а, следовательно, к невозможности оценки параметров α_j , $j = \overline{0, l}$, $\alpha_j^{\min}$, $\alpha_j^{\max}$. Правильный выбор параметров $k_j^{\min}$, $k_j^{\max}$, $j = \overline{1, p}$ обсуждается в работах [Базилевский, 2020, 2021, 2022a].

В [Базилевский, 2022в] рассмотрены вопросы построения вполне интерпретируемых НЛР (1).

Работы [Базилевский, 2020, 2021, 2022а, в] объединяет то, что предложенное в их рамках программное обеспечение в первую очередь предназначено для выбора оптимальной структуры НЛР (1). Программного продукта, позволяющего оценивать с помощью МНК заданную пользователем структуру НЛР (1) со многими переменными, до сегодняшнего дня разработано не было.

Обобщение НЛР и алгоритмы их численного оценивания

В работе [Базилевский, 2022б] хорошо зарекомендовали себя простейшие НЛР как с угловым коэффициентом, так и со свободным членом в бинарной операции. На основе этого введем НЛР с линейным аргументом в бинарных операциях:

$$y_i = \alpha_0 + \sum_{j=1}^l \alpha_j x_{ij} + \sum_{j=1}^p \alpha_j^{\min} \min\{x_{i,\mu_{j1}}, k_j^{\min} x_{i,\mu_{j2}} + b_j^{\min}\} + \\ + \sum_{j=1}^p \alpha_j^{\max} \max\{x_{i,\mu_{j1}}, k_j^{\max} x_{i,\mu_{j2}} + b_j^{\max}\} + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $b_j^{\min}$, $b_j^{\max}$, $j = \overline{1, p}$ – неизвестные параметры. Будем называть их свободными членами бинарных операций, а параметры $k_j^{\min}$, $k_j^{\max}$, $j = \overline{1, p}$ – угловыми коэффициентами бинарных операций. НЛР (2) представляет собой более гибкий инструмент математического моделирования, нежели НЛР (1).

Рассмотрим 3 случая НЛР (2) и алгоритмы их численного оценивания.

1. Параметры $b_j^{\min}$, $b_j^{\max}$, $j = \overline{1, p}$ равны 0. В этом случае НЛР (2) вырождается в НЛР (1) с угловыми коэффициентами в бинарных операциях. Алгоритм численного МНК-оценивания таких моделей хорошо изучен (см., например, [Базилевский, 2020, 2021]). Сначала определяются границы возможных значений угловых коэффициентов $k_j^{\min}$, $k_j^{\max}$, $j = \overline{1, p}$ по формулам:

$$\text{low}_j = \min \left\{ \frac{x_{1,\mu_{j1}}}{x_{1,\mu_{j2}}}, \frac{x_{2,\mu_{j1}}}{x_{2,\mu_{j2}}}, \dots, \frac{x_{n,\mu_{j1}}}{x_{n,\mu_{j2}}} \right\}, \quad \text{up}_j = \max \left\{ \frac{x_{1,\mu_{j1}}}{x_{1,\mu_{j2}}}, \frac{x_{2,\mu_{j1}}}{x_{2,\mu_{j2}}}, \dots, \frac{x_{n,\mu_{j1}}}{x_{n,\mu_{j2}}} \right\}, \quad j = \overline{1, p}. \quad (3)$$

Затем каждый полученный интервал $[low_j, up_j]$ разбивается равномерно r точками. После чего, используя все возможные комбинации этих точек вместо угловых коэффициентов НЛР (1), с помощью МНК оценивается r^{2p} линейных регрессий и выбирается лучшая из них по величине коэффициента детерминации R^2 . Стоит отметить, что если в структуру НЛР (1) каждая объясняющая переменная будет входить ровно 1 раз, то концы интервалов $[low_j, up_j]$ тоже можно использовать при формировании линейных регрессий, поскольку совершенной мультиколлинеарности не будет.

2. Параметры $k_j^{\min}$, $k_j^{\max}$, $j = \overline{1, p}$ равны 1. В этом случае НЛР (2) вырождается в НЛР с единичными угловыми коэффициентами и со свободными членами в бинарных операциях:

$$y_i = \alpha_0 + \sum_{j=1}^l \alpha_j x_{ij} + \sum_{j=1}^p \alpha_j^{\min} \min\{x_{i,\mu_{j1}}, x_{i,\mu_{j2}} + b_j^{\min}\} + \\ + \sum_{j=1}^p \alpha_j^{\max} \max\{x_{i,\mu_{j1}}, x_{i,\mu_{j2}} + b_j^{\max}\} + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Используя результаты работы [Базилевский, 2022б], не трудно установить, что алгоритм численного МНК-оценивания НЛР (4) будет отличаться от алгоритма идентификации НЛР (1) только формулами для определения границ возможных значений свободных членов $b_j^{\min}$, $b_j^{\max}$, $j = \overline{1, p}$:

$$low_j = \min\{x_{1,\mu_{j1}} - x_{1,\mu_{j2}}, x_{2,\mu_{j1}} - x_{2,\mu_{j2}}, \dots, x_{n,\mu_{j1}} - x_{n,\mu_{j2}}\}, \\ up_j = \max\{x_{1,\mu_{j1}} - x_{1,\mu_{j2}}, x_{2,\mu_{j1}} - x_{2,\mu_{j2}}, \dots, x_{n,\mu_{j1}} - x_{n,\mu_{j2}}\}, \quad j = \overline{1, p}. \quad (5)$$

3. Параметры $k_j^{\min}$, $k_j^{\max}$, $b_j^{\min}$, $b_j^{\max}$, $j = \overline{1, p}$ отличны от нуля. Это самый интересный, но проблематичный случай. Точно определить области возможных значений изменения угловых коэффициентов и свободных членов затруднительно. Поэтому предлагается действовать следующим образом. Сначала выбрать произвольные границы (например, по формулам (3)) возможных значений угловых коэффициентов $k_j^{\min}$, $k_j^{\max}$, $j = \overline{1, p}$ и разбить полученные интервалы r точками. А затем для каждой такой точки $k_j^{(s)}$, $j = \overline{1, p}$, $s = \overline{1, r}$ определить границы возможных значений свободных членов $b_j^{\min}$, $b_j^{\max}$, $j = \overline{1, p}$:

$$low_{js} = \min\{x_{1,\mu_{j1}} - k_j^{(s)} x_{1,\mu_{j2}}, x_{2,\mu_{j1}} - k_j^{(s)} x_{2,\mu_{j2}}, \dots, x_{n,\mu_{j1}} - k_j^{(s)} x_{n,\mu_{j2}}\}, \\ up_{js} = \max\{x_{1,\mu_{j1}} - k_j^{(s)} x_{1,\mu_{j2}}, x_{2,\mu_{j1}} - k_j^{(s)} x_{2,\mu_{j2}}, \dots, x_{n,\mu_{j1}} - k_j^{(s)} x_{n,\mu_{j2}}\}, \quad j = \overline{1, p}. \quad (6)$$

После чего снова разбить полученные отрезки точками и осуществить процедуру выбора лучшей регрессии методом полного перебора r^{4p} комбинаций. Как видно, вычислительная сложность такой задачи гораздо выше, чем в предыдущих двух случаях. Также её решение не гарантирует близость оценок полученной НЛР к оптимальным МНК-оценкам, в отличие от предыдущих двух алгоритмов. Тем не менее, высока вероятность того, что качество НЛР (2), оцененной представленным алгоритмом, будет лучше, чем качество НЛР (1) и (4).

Предложенные в этом разделе алгоритмы численного МНК-оценивания НЛР представляют собой довольно сложные вычислительные задачи. Однако они рассмотрены в условиях, когда абсолютно все $2p$ бинарных операций входят в модель. На практике же чаще возникают

задачи построения НЛР произвольной структуры с ограниченным числом бинарных операций. Такие задачи, естественно, будут решаться разработанными алгоритмами значительно быстрее.

Выделим некоторые существующие пока особенности применения НЛР на практике.

1. На сегодняшний день НЛР применяются [Базилевский, 2021, 2022а, в] только для решения задач, в которых все переменные строго положительны. Решать задачи с отрицательными значениями переменных тоже возможно, но пока не приходилось.

2. Чтобы избежать проблем с совершенной мультиколлинеарностью факторов, к спецификации НЛР предъявляется требование, чтобы каждая переменная входила в неё не более одного раза.

3. Угловые коэффициенты НЛР выбираются положительными. Тогда для обеспечения интерпретируемости НЛР [Базилевский, 2022в] вводится ограничение, чтобы знаки коэффициентов корреляции входящих в каждую бинарную операцию переменных с объясняемой переменной y были одинаковы и совпадали со знаком МНК-оценки при этой бинарной операции.

Программа численного оценивания НЛР методом наименьших квадратов

Для оценивания НЛР произвольной структуры с помощью МНК в среде программирования Delphi была разработана специальная программа НЕЭЛИН. Алгоритм работы программы представлен на рис. 1.

Сначала пользователю нужно ввести данные в программу. Делается это нажатием кнопки «Загрузка» на главной форме. В открывшемся окне нужно выбрать текстовый файл формата «*.txt». Данные в нём должны быть структурированы в виде таблицы. Первый столбик должен содержать значения объясняемой переменной, второй – первой объясняющей переменной, третий – второй объясняющей переменной и т.д. Значения в столбцах отделяются друг от друга символом «Tab», а в вещественных числах сепаратором служит «.». Если всё сделано верно, то данные отобразятся в поле «Статистические данные» главной формы.

Затем нужно выбрать структуру НЛР. Делается это в поле «Структура модели» главной формы. Структура задается в виде таблицы. Образец такой таблицы представлен на рис. 2. Её строки соответствуют числу регрессоров НЛР, а их количество регулируется в поле «Число регрессоров». Предусмотрена возможность задать от 1 до 10 регрессоров. В каждую строку таблицы вводится информация о типе регрессора и его параметрах. Столбец «Преобр.» обязателен для заполнения и содержит информацию о типе регрессора. Типы бывают следующие:

- «lin» – линейный регрессор;
- «min» – бинарная операция min;
- «max» – бинарная операция max.

Столбец «Перем». обязателен для заполнения и содержит информацию о номерах переменных, входящих в регрессор. Если выбран тип регрессора «lin», то в этот столбик вводится один номер, а если «min» или «max», то два. В последнем случае номера переменных вводятся в порядке возрастания и отделяются друг от друга пробелом. Важно, чтобы входящие в регрессор переменные коррелировали с зависимой переменной с одинаковым знаком. Иначе оцененная НЛР может получиться не интерпретируемой.

Столбец «Тип» обязателен для заполнения для регрессоров только типов «min» и «max». Для линейных регрессоров соответствующую ячейку таблицы надо оставить пустой. В столбец «Тип» вносится информация о типе бинарной операции. Типы бывают следующие:

- «s» – в бинарную операцию входит только угловой коэффициент (slope);
- «i» – в бинарную операцию входит единичный угловой коэффициент и свободный член (intercept);
- «si» – в бинарную операцию входит линейный аргумент.

Столбец «Slope» заполняется только для бинарных операций типа «si». Он содержит нижнюю и верхнюю границы изменения углового коэффициента. Границы задаются в порядке возрастания и отделяются друг от друга пробелом.

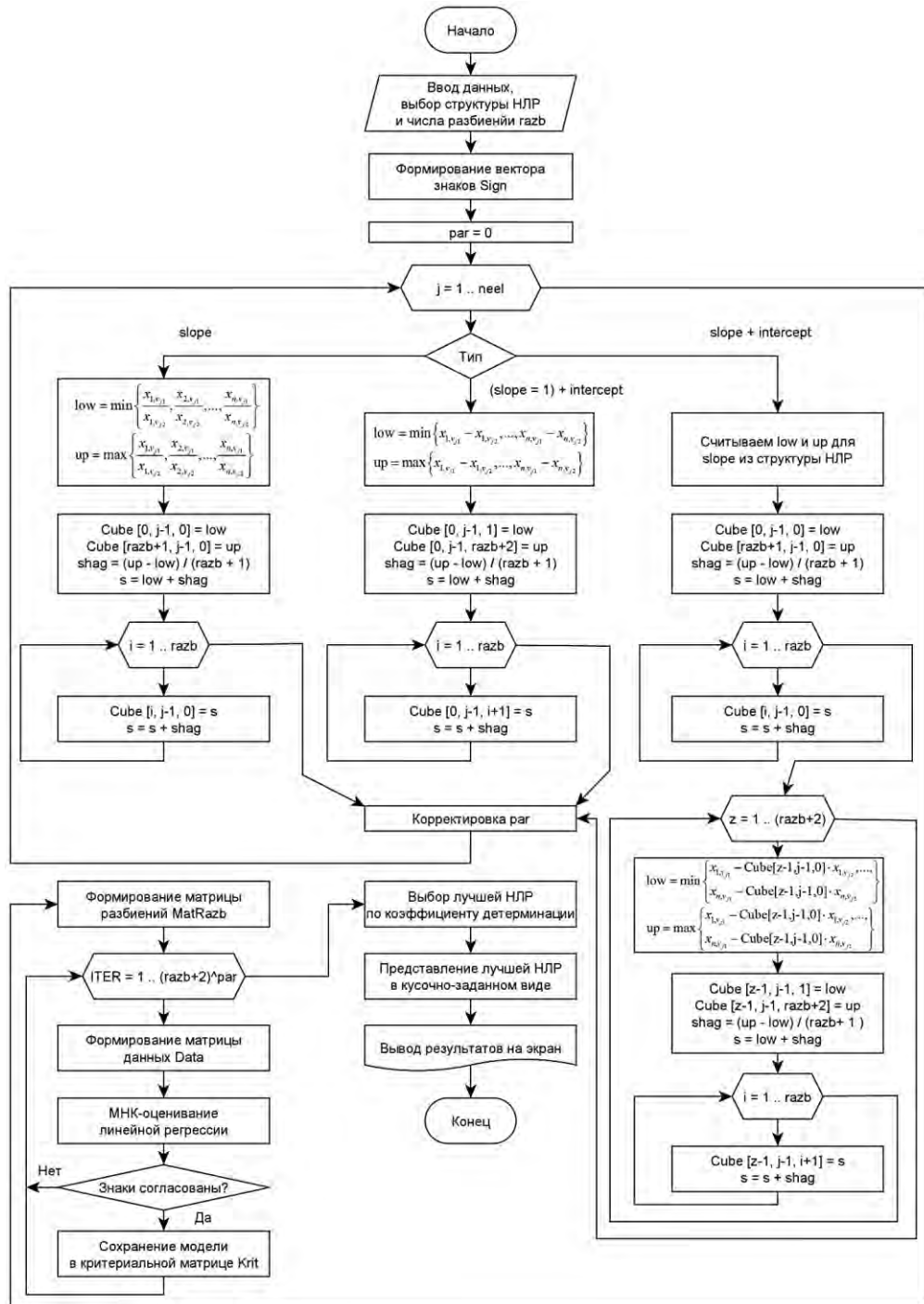


Рис. 1. Алгоритм работы программы НЕЭЛИН
Fig. 1. The algorithm of the program NEELIN

Например, приведенная на рис. 2 таблица в поле «Структура модели» соответствует следующей спецификации:

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 \min \{x_{i1}, k_1 x_{i3} + b\} + \alpha_2 \max \{x_{i2}, k_2 x_{i5}\} + \alpha_3 x_{i4} + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}.$$

Если пользователь затрудняется с выбором границ углового коэффициента бинарной операции типа «si», то может нажать на кнопку «Оценить slope» и посмотреть границы для всех угловых коэффициентов, найденных по формулам (3). Это поможет ему сделать выбор.

Перед оцениванием НЛР также нужно выбрать число разбиений (razb) интервалов изменения угловых коэффициентов и свободных членов в поле «Число разбиений» и установить

переключатель «Согласованность знаков», отвечающий за то, чтобы знаки МНК-оценок модели были или не были согласованы со знаками входящих в регрессоры переменных в нужное положение.

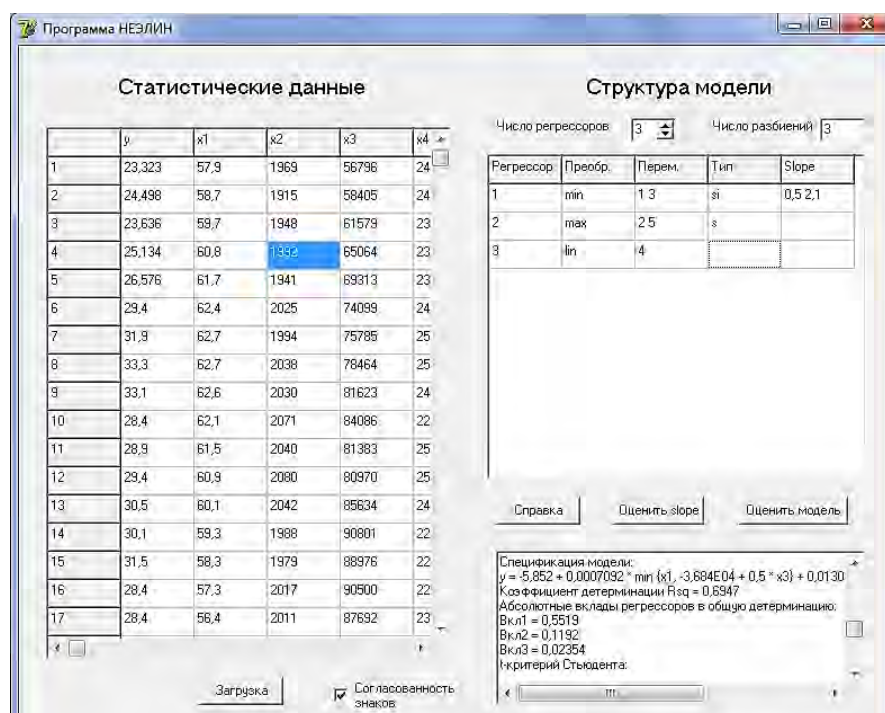


Рис. 2. Главная форма программы НЕЭЛИН

Fig. 2. The main form of the NEELIN program

Далее нужно запустить процесс оценивания НЛР, нажав кнопку «Оценить модель». Перед его началом проверяется корректность введенной пользователем структуры модели. Если все проверки пройдены, то сначала формируется вектор знаков корреляции регрессоров Sign, компонента которого равна «+1», если коэффициент корреляции произвольной переменной регрессора с зависимой переменной положителен, и «-1», если коэффициент корреляции отрицателен.

Затем начинает формироваться трехмерный массив Cube (рис. 1) размера $(\text{razb}+2) \times \text{neel} \times (\text{razb}+3)$, где neel – число неэлементарных функций, содержащий для выбранной структуры НЛР все возможные значения угловых коэффициентов и свободных членов в бинарных операциях. Будем называть этот массив кубом. Структура куба представлена на рис. 3. Он состоит из трех измерений – «Угловой коэффициент», «Свободный член», «Бинарная операция».

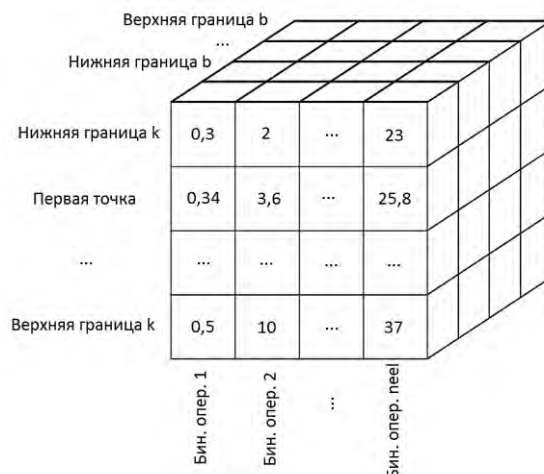


Рис. 3. Структура куба

Fig. 3. The structure of the cube

Постепенно в цикле (рис. 1) заполняются срезы куба по каждой бинарной операции, представляющие собой двумерные массивы двух измерений – «Угловой коэффициент» и «Свободный член». При этом структура каждого такого среза зависит от типа бинарной операции. Если выбран тип «s», то нижняя (low) и верхняя (up) границы углового коэффициента определяются по формулам (3), затем полученный интервал разбивается $razb$ точками на $(razb+1)$ интервалов одинаковой длины $shag$ и все эти точки (вместе с low и up) сохраняются в срез куба в виде одномерного массива измерения «Угловой коэффициент». Если выбран тип «i», то границы low и up свободного члена определяются по формулам (5), затем полученный интервал разбивается точками и все они вместе с low и up сохраняются в срез куба в виде одномерного массива измерения «Свободный член». Если выбран тип «si», то сформированный по заданным пользователем границам углового коэффициента low и up интервал сначала разбивается точками, потом для каждой из этих точек вместе с low и up определяются границы свободного члена по формулам (6), затем полученные интервалы снова разбиваются $razb$ точками и все они сохраняются в срез куба в виде двумерного массива измерений «Угловой коэффициент» и «Свободный член».

После чего автоматически формируется матрица разбиений $MatRazb$ размера $[(razb+2)^{par}] * par$, где par – общее количество угловых коэффициентов и свободных членов в бинарных операциях выбранной НЛР. Комбинации разбиений формируются в лексикографическом порядке.

На следующем этапе начинается цикл по строкам матрицы $MatRazb$. Для каждой строки реализуется следующая последовательность действий:

1) с помощью куба формируется матрица данных $Data$, содержащая в первом столбце значения зависимой переменной, а в остальных столбцах значения переменных, преобразованных в соответствии с заданной структурой НЛР;

2) по матрице $Data$ находятся МНК-оценки линейной регрессии;

3) если пользователем активирован переключатель «Согласованность знаков», то знаки всех МНК-оценок проверяются на соответствие знакам вектора $Sign$. Если знаки абсолютно всех оценок согласованы, то модель и её характеристики сохраняются в критериальной матрице $Krit$, а если нет, то сохранение не производится.

И, наконец, по критериальной матрице $Krit$ выбирается лучшая с точки зрения коэффициента детерминации НЛР и сразу в окне результатов на главной форме программы выводится следующая информация: общее количество оцененных вариантов НЛР, число НЛР с согласованными по знакам МНК-оценками, значения преобразованных переменных для лучшей НЛР, а также её спецификация, коэффициент детерминации, абсолютные вклады регрессоров в общую детерминацию [Базилевский, 2022а], t -критерий Стьюдента и её представление в кучно-заданной форме.

Моделирование грузовых перевозок железнодорожного транспорта в Республике Башкортостан

Республика Башкортостан входит в Приволжский федеральный округ Российской Федерации. Вопросы моделирования экономики Республики Башкортостан рассмотрены в работах [Дегтярев, 2020; Муратов, Дегтярев, 2021]. Транспорт – одна из важнейших отраслей экономики Башкортостана. По объемам отправления грузов железнодорожным транспортом Республика Башкортостан в 2020 году заняла третье место с объемом 26,4 млн тонн среди четырнадцати субъектов Приволжского федерального округа. Поэтому задача моделирования грузовых перевозок в Башкортостане весьма актуальна в настоящее время.

В качестве объясняемой переменной y выступает отправление грузов железнодорожным транспортом общего пользования (млн тонн) в Республике Башкортостан. На сайте Росстата (<https://rosstat.gov.ru/>) для этой переменной были собраны ежегодные статистические данные за период с 2000 по 2020 гг. Также предварительно был сформирован список из 30 объясняющих переменных, предположительно влияющих на y , для каждой из которых были собраны данные с того же сайта. С помощью корреляционного анализа из этого списка были исключены те переменные, которые либо совсем слабо коррелируют с y , либо у которых знаки коэффициентов корреляции противоречат содержательному смыслу решаемой задачи. В результате исключения осталось 7 переменных:

x_1 – население в трудоспособном возрасте (%);

x_2 – численность рабочей силы (тыс. человек);

x_3 – число предприятий и организаций;

x_4 – производство электроэнергии (млрд киловатт-часов);

x_5 – продукция сельского хозяйства (млн руб.);

x_6 – объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство» (млн руб.);

x_7 – валовой региональный продукт (млн руб.).

Заметим, что все эти переменные коррелируют с y со знаком «+».

Сначала с помощью МНК в пакете Gretl (<https://gretl.sourceforge.net/ru.html>) была построена линейная регрессия со всеми семью объясняющими переменными:

$$\begin{aligned} \tilde{y} = & -25,446 + 0,629 x_1 - 0,0109 x_2 + 0,000263 x_3 + 0,769 x_4 - \\ & - 2,732 \cdot 10^{-5} x_5 + 3,77 \cdot 10^{-5} x_6 - 2,118 \cdot 10^{-6} x_7. \end{aligned} \quad (7)$$

(1,195) (-1,026) (1,431) (1,318)
(-0,733) (1,075) (-0,420)

Коэффициент детерминации R^2 регрессии (7) равен 0,855918, что говорит об её хорошем качестве. Но абсолютно все коэффициенты, судя по указанным в скобках под ними значениям t-критерия Стьюдента, незначимы даже для уровня значимости 0,1. Это следствие такого негативного эффекта, как частичная мультиколлинеарность. Действительно, пять из семи коэффициентов вздутия дисперсии VIF (для переменных x_1 , x_3 , x_5 , x_6 и x_7) превосходят пороговое значение 10, что свидетельствует о наличии мультиколлинеарности. Из-за неё знаки коэффициентов при переменных x_2 , x_5 и x_7 противоречат их содержательному смыслу, поэтому модель (7) не годится для интерпретации.

Поэтому было принято решение перестроить модель (7), воспользовавшись в Gretl методом автоматического исключения незначимых факторов. Для этого уровень значимости был задан 0,05. В результате исключения получилась модель:

$$y = -37,23 + 0,448 x_1 + 0,000244 x_3 + 0,834 x_4. \quad (8)$$

(4,127) (8,161) (3,412)

Для регрессии (8) $R^2 = 0,822860$, поэтому она хуже по качеству аппроксимации, чем модель (7), но зато все её коэффициенты значимы по t-критерию Стьюдента, а также она лишена эффекта мультиколлинеарности и может быть интерпретирована. И всё же хотелось бы иметь модель более высокого качества, чем (8).

Для построения НЛР сначала нужно было определиться с её структурой. Для этого была использована программа ВИнтер-2 [Базилевский, 2022в], в которой по заданным настройкам формируется и решается задача частично-булевого линейного программирования, выбирающая оптимальную по коэффициенту детерминации структуру НЛР (1). К таким настройкам относится число точек, разбивающих отрезки (3), и минимальное пороговое значение для коэффициентов корреляции регрессоров с y . Первая настройка была выбрана равной 4, вторая – 0,2. В результате работы программы за 81,9 сек. была выбрана следующая структура НЛР:

$$\begin{aligned} \tilde{y} = & -43,79 + 1,033 x_4 + 0,00277 \min \{x_2, 0.0317 x_6\} + \\ & + 0,695 \max \{x_1, 0.00071 x_3\} + 4,769 \cdot 10^{-6} \max \{x_5, 0.117 x_7\}. \end{aligned} \quad (9)$$

(0,0626) (0,4356) (0,3251) (0,0313)
(3,152) (2,286) (3,026) (0,4136)

Для регрессии (9) $R^2 = 0,854706$, т.е. качество её аппроксимации примерно такое же, что и у линейной регрессии со всеми переменными (7). Но НЛР (9), в отличие от модели (7), лишена эффекта мультиколлинеарности и все её коэффициенты удовлетворяют смыслу задачи.

Но всё же по t-критерию Стьюдента коэффициент НЛР (9) при регрессоре $\max\{x_5, 0.117x_7\}$ оказался не значим для уровня значимости 0,05. О его слабом влиянии на y также можно судить по величине абсолютного вклада этого регрессора в общую детерминацию (0,0313) [Базиловский, 2022a]. Эти вклады указаны в скобках над коэффициентами модели (9). Поэтому было принято решение исключить регрессор $\max\{x_5, 0.117x_7\}$. Переоцененная с помощью МНК новая структура НЛР получилась следующей:

$$\begin{aligned} \tilde{y} = & -37,21 + \overset{(0,0575)}{\underset{(3,809)}{0,948}}x_4 + \overset{(0,5071)}{\underset{(6,491)}{0,00322}}\min\{x_2, 0.0317x_6\} + \\ & \overset{(0,2886)}{\underset{(4,849)}{0,616}}\max\{x_1, 0.00071x_3\}. \end{aligned} \quad (10)$$

Для регрессии (10) $R^2 = 0,8532$, т.е. её качество практически не отличается от качества более сложной модели (9). При этом отсутствует эффект мультиколлинеарности, все коэффициенты интерпретируемы и значимы по t-критерию Стьюдента даже для уровня 0,01.

В принципе, НЛР (10) уже может применяться на практике. Однако она получена при условии, когда число точек разбиения отрезков (3) выбиралось равным 4. Для уточнения МНК-оценок модели (10) была применена программа НЕЭЛИН. Число разбиений отрезков (3) в ней было выбрано равным 100. В результате была получена уточненная НЛР с угловыми коэффициентами в бинарных операциях:

$$\begin{aligned} \tilde{y} = & -38,73 + \overset{(0,06083)}{\underset{(3,864)}{1,003}}x_4 + \overset{(0,4904)}{\underset{(5,803)}{0,00323}}\min\{x_2, 0.0361x_6\} + \\ & \overset{(0,3096)}{\underset{(4,559)}{0,613}}\max\{x_1, 0.000721x_3\}. \end{aligned} \quad (11)$$

Для регрессии (11) $R^2 = 0,8608$, т.е. она лучше по качеству любой из построенных выше моделей (7) – (10). Никаких проблем с мультиколлинеарностью, интерпретацией и значимостью её коэффициентов по-прежнему нет. Заметим, что уравнение (11) было выбрано из 10404 вариантов моделей, из которых только в 9031 регрессиях все МНК-оценки оказались интерпретируемыми. Таким образом, НЕЭЛИН позволяет уточнять МНК-оценки НЛР, структура которой выбрана в программе ВИнтер-2.

Затем в НЕЭЛИН оценивалась НЛР (4) с единичными угловыми коэффициентами и произвольными свободными членами в бинарных операциях. Число разбиений по-прежнему было выбрано равным 100. В результате из 10404 вариантов моделей только в 6031 регрессиях все МНК-оценки оказались интерпретируемыми. Лучшая из них модель имеет вид:

$$\begin{aligned} \tilde{y} = & -36,6 + \overset{(0,02737)}{\underset{(2,117)}{0,4514}}x_4 + \overset{(0,5133)}{\underset{(9,194)}{5,703 \cdot 10^{-5}}}\min\{x_2, -1,45 \cdot 10^5 + x_6\} + \\ & \overset{(0,3134)}{\underset{(8,127)}{0,9625}}\max\{x_1, -9,074 \cdot 10^4 + x_3\}. \end{aligned} \quad (12)$$

Для регрессии (12) $R^2 = 0,8541$, т.е. она примерно такая же по качеству, что и НЛР (11). В (12) все коэффициенты значимы для уровня 0,05, интерпретируемы и мультиколлинеарность отсутствует. При этом содержательная интерпретация НЛР (12) будет принципиально отличаться от интерпретации НЛР (11) [Базиловский, 2022б].

И, наконец, с помощью НЕЭЛИН оценивалась НЛР с произвольными угловыми коэффициентами и свободными членами в бинарных операциях. Интервалы возможных значений угловых коэффициентов НЛР были выбраны $[0,01; 0,05]$ для регрессора с бинарной операцией

min, и $[0,0001;0,001]$ для регрессора с бинарной операцией max. Число разбиений было выбрано равным 25. В результате из 1048576 моделей, из которых в 690718 регрессиях все МНК-оценки оказались интерпретируемыми, была выбрана следующая:

$$\begin{aligned} \tilde{y} = & \underset{(4,773)}{-67,17} + \underset{(0,05535)}{0,9127} x_4 + \underset{(0,3811)}{0,0008464} \min \{x_2, -5066 + \underset{(8,785)}{0,05} x_6\} + \\ & + \underset{(0,4526)}{1,227} \max \{x_1, 31,12 + \underset{(9,405)}{0,0003323} x_3\}. \end{aligned} \quad (13)$$

Для регрессии (13) $R^2 = 0,8891$, т.е. по качеству она оказалась гораздо лучше, чем НЛР (11) и (12). И в ней как и прежде все коэффициенты значимы, интерпретируемы и отсутствует мультиколлинеарность.

Представим модель (13) в кусочно-заданном виде:

$$\tilde{y} = \begin{cases} -71,46 + 0,9127x_4 + 4,232 \cdot 10^{-5}x_6 + 1,227x_1, & \text{при } x_2 \geq -5066 + 0,05x_6, x_1 \geq 31,12 + 0,000332x_3, \\ -33,29 + 0,9127x_4 + 4,232 \cdot 10^{-5}x_6 + 0,000407x_3, & \text{при } x_2 \geq -5066 + 0,05x_6, x_1 < 31,12 + 0,00033x_3, \\ -67,17 + 0,9127x_4 + 0,0008464x_2 + 1,227x_1, & \text{при } x_2 < -5066 + 0,05x_6, x_1 \geq 31,12 + 0,000332x_3, \\ -29 + 0,9127x_4 + 0,0008464x_2 + 0,000407x_3, & \text{при } x_2 < -5066 + 0,05x_6, x_1 < 31,12 + 0,000332x_3. \end{cases}$$

Тогда НЛР (13) можно интерпретировать следующим образом.

1. Если производство электроэнергии x_4 увеличится на 1 млрд киловатт-часов (при неизменных значениях остальных переменных), то ж/д грузоперевозки y в Республике Башкортостан вырастут в среднем на 0,9127 млн тонн.

2. Если $x_2 \geq -5066 + 0,05x_6$, то на y влияют объемы строительных работ x_6 , а численность рабочей силы x_2 не влияет. При этом с увеличением x_6 на 100000 млн руб (при неизменных значениях остальных переменных) y возрастает в среднем на 4,232 млн тонн. Если $x_2 < -5066 + 0,05x_6$, то на y , наоборот, влияет x_2 , а не x_6 . При этом с увеличением x_2 на 1 тыс. человек (при неизменных значениях остальных переменных) y возрастает в среднем на 846,4 тонны.

3. Если $x_1 \geq 31,12 + 0,000332x_3$, то на y влияет численность населения в трудоспособном возрасте x_1 , а число предприятий и организаций x_3 не влияет. При этом с увеличением x_1 на 1% (при неизменных значениях остальных переменных) y возрастает в среднем на 1,227 млн тонн. Если $x_1 < 31,12 + 0,000332x_3$, то на y , наоборот, влияет x_3 , а не x_1 . При этом с увеличением x_3 на 10000 штук (при неизменных значениях остальных переменных) y возрастает в среднем на 4,07 млн тонн.

Заключение

В работе сформулировано обобщение НЛР с угловыми коэффициентами в бинарных операциях – НЛР с линейными аргументами в бинарных операциях. Рассмотрено три их вида, для каждого из которых предложен численный алгоритм МНК-оценивания. На основе этих алгоритмов была разработана программа НЕЭЛИН, позволяющая численно оценивать с помощью МНК НЛР произвольной структуры. Рассмотрен алгоритм работы НЕЭЛИН. Показано, что в этом алгоритме возможные значения угловых коэффициентов и свободных членов хранятся в виде трехмерного массива. Продемонстрировано, как в НЕЭЛИН нужно задавать структуру НЛР. С помощью НЕЭЛИН решена задача моделирования железнодорожных грузовых перевозок Республики Башкортостан. Разработанная программа НЕЭЛИН универсальна и может применяться для решения различных задач анализа данных.

Список литературы

Базилевский М.П. 2020. Оценивание линейно-неэлементарных регрессионных моделей с помощью метода наименьших квадратов. Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 8, 4 (31). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.31.4.026>



- Базилевский М.П. 2021. Отбор информативных операций при построении линейно-неэлементарных регрессионных моделей. *International Journal of Open Information Technologies*, 9 (5): 30–35.
- Базилевский М.П. 2022. Метод построения неэлементарных линейных регрессий на основе аппарата математического программирования. *Проблемы управления*, 4: 3–14. <https://doi.org/10.25728/pu.2022.4.1>
- Базилевский М.П. 2022. Оценка методом наименьших квадратов простейших неэлементарных линейных регрессий с линейным аргументом в бинарной операции. *Вестник кибернетики*, 4 (48): 69–76.
- Базилевский М.П. 2022. Построение вполне интерпретируемых неэлементарных линейных регрессионных моделей. *Вестник Югорского государственного университета*, 4 (67): 105–114.
- Базилевский М.П., Носков С.И. 2017. Формализация задачи построения линейно-мультипликативной регрессии в виде задачи частично-булевого линейного программирования. *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*, 3 (55): 101–105.
- Дегтярев А.Н. 2020. Анализ современного состояния развития промышленности и нефтедобычи в Республике Башкортостан. *Научные труды Вольного экономического общества России*, 223 (3): 432–444.
- Клейнер Г.Б. 1986. Производственные функции: Теория, методы, применение. Москва, Финансы и статистика, 239 с.
- Муратов Р.Х., Дегтярев А.Н. 2021. Условия экономического роста в модели инновационного развития региона (на материалах Республики Башкортостан). *Уфимский гуманитарный научный форум*, 2 (6): 10–18.
- Носков С.И., Хоняков А.А. 2019. Программный комплекс построения некоторых типов кусочно-линейных регрессий. *Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами*, 3 (4): 47–55.
- Du M., Liu N., Hu X. 2019. Techniques for interpretable machine learning. *Communications of the ACM*, 63 (1): 68–77. <https://doi.org/10.1145/3359786>
- Gao F., Yang L., Han C., Tang J., Li Z. 2022. A network-distance-based geographically weighted regression model to examine spatiotemporal effects of station-level built environments on metro ridership. *Journal of Transport Geography*, 105: 103472. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103472>
- Gelman A., Hill J., Vehtari A. 2020. *Regression and other stories*. Cambridge University Press.
- Karakurt I., Aydin G. 2023. Development of regression models to forecast the CO2 emissions from fossil fuels in the BRICS and MINT countries. *Energy*, 263: 125650. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125650>
- Keith T.Z. 2019. *Multiple regression and beyond: An introduction to multiple regression and structural equation modeling*. Routledge.
- Letzgus S., Wagner P., Lederer J., Samek W., Müller K.R., Montavon G. 2022. Toward explainable artificial intelligence for regression models: A methodological perspective. *IEEE Signal Processing Magazine*, 39 (4): 40–58. <https://doi.org/10.1109/MSP.2022.3153277>
- Luo J., Hong T., Gao Z., Fang S.C. 2022. A robust support vector regression model for electric load forecasting. *International Journal of Forecasting*. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2022.04.001>
- Molnar C. 2020. *Interpretable machine learning*. Lulu. com.
- Tian M., Guo F., Niu R. 2022. Risk spillover analysis of China's financial sectors based on a new GARCH copula quantile regression model. *The North American Journal of Economics and Finance*, 63: 101817. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2022.101817>
- Wang P., Chen S., Yang S. 2022. Recent advances on penalized regression models for biological data. *Mathematics*, 10 (19): 3695. <https://doi.org/10.3390/math10193695>

References

- Bazilevskiy M.P. 2020. Otsenivanie lineyno-neelementarnykh regressionnykh modeley s pomoshch'yu metoda naimen'shikh kvadratov [Estimation linear non-elementary regression models using ordinary least square]. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii*, 8, 4 (31). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.31.4.026>
- Bazilevskiy M.P. 2021. Otbor informativnykh operatsiy pri postroenii lineyno-neelementarnykh regressionnykh modeley [Selection of informative operations in the construction of linear non-elementary regression models]. *International Journal of Open Information Technologies*, 9 (5): 30–35.
- Bazilevskiy M.P. 2022. Metod postroeniya neelementarnykh lineynykh regressiy na osnove apparata matematicheskogo programmirovaniya [A method for constructing non-elementary linear regressions based on mathematical programming]. *Problemy upravleniya*, 4: 3–14. <https://doi.org/10.25728/pu.2022.4.1>
- Bazilevskiy M.P. 2022. Otsenka metodom naimen'shikh kvadratov prosteyshikh neelementarnykh lineynykh regressiy s lineynym argumentom v binarnoy operatsii [Ordinary least squares estimation of simple non-

- elementary linear regressions with a linear argument in a binary operation]. *Vestnik kibernetiki*, 4 (48): 69–76.
- Bazilevskiy M.P. 2022. Postroenie vpolne interpretiruemyykh neelementarnyykh lineynykh regressionnykh modeley [Construction of quite interpretable non-elementary linear regression models]. *Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*, 4 (67): 105–114.
- Bazilevskiy M.P., Noskov S.I. 2017. Formalizatsiya zadachi postroeniya lineynno-mul'tiplikativnoy regressii v vide zadachi chastichno-bulevogo lineynogo programmirovaniya. *Sovremennye tekhnologii* [Formalization of the problem of construction of linear multiplicative regressions in the form of a partial-Boolean linear programming problem]. *Sistemnyy analiz. Modelirovaniye*, 3 (55): 101–105.
- Degtyarev A.N. 2020. Analiz sovremennogo sostoyaniya razvitiya promyshlennosti i nefte dobychi v Respublike Bashkortostan [Analysis of the modern state of the industry and oil production in the Republic of Bashkortostan]. *Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii*, 223 (3): 432–444.
- Kleyner G.B. 1986. *Proizvodstvennye funktsii: Teoriya, metody, primeneniye* [Production functions: Theory, methods, application]. Moskva, Finansy i statistika, 239 p.
- Muratov R.Kh., Degtyarev A.N. 2021. Usloviya ekonomicheskogo rosta v modeli innovatsionnogo razvitiya regiona (na materialakh Respubliki Bashkortostan) [The economic growth in the model of innovate development of the region (based on the materials of the Republic of Bashkortostan)]. *Ufimskiy gumanitarnyy nauchnyy forum*, 2 (6): 10–18.
- Noskov S.I., Khonyakov A.A. 2019. Programmy kompleks postroeniya nekotorykh tipov kusochno-lineynykh regressiy [Software complex for building some types pieces of linear regressions]. *Informatsionnye tekhnologii i matematicheskoe modelirovaniye v upravlenii slozhnyimi sistemami*, 3 (4): 47–55.
- Du M., Liu N., Hu X. 2019. Techniques for interpretable machine learning. *Communications of the ACM*, 63 (1): 68–77. <https://doi.org/10.1145/3359786>
- Gao F., Yang L., Han C., Tang J., Li Z. 2022. A network-distance-based geographically weighted regression model to examine spatiotemporal effects of station-level built environments on metro ridership. *Journal of Transport Geography*, 105: 103472. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103472>
- Gelman A., Hill J., Vehtari A. 2020. *Regression and other stories*. Cambridge University Press.
- Karakurt I., Aydin G. 2023. Development of regression models to forecast the CO2 emissions from fossil fuels in the BRICS and MINT countries. *Energy*, 263: 125650. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125650>
- Keith T.Z. 2019. *Multiple regression and beyond: An introduction to multiple regression and structural equation modeling*. Routledge.
- Letzgs S., Wagner P., Lederer J., Samek W., Müller K.R., Montavon G. 2022. Toward explainable artificial intelligence for regression models: A methodological perspective. *IEEE Signal Processing Magazine*, 39 (4): 40–58. <https://doi.org/10.1109/MSP.2022.3153277>
- Luo J., Hong T., Gao Z., Fang S.C. 2022. A robust support vector regression model for electric load forecasting. *International Journal of Forecasting*. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2022.04.001>
- Molnar C. 2020. *Interpretable machine learning*. Lulu. com.
- Tian M., Guo F., Niu R. 2022. Risk spillover analysis of China's financial sectors based on a new GARCH copula quantile regression model. *The North American Journal of Economics and Finance*, 63: 101817. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2022.101817>
- Wang P., Chen S., Yang S. 2022. Recent advances on penalized regression models for biological data. *Mathematics*, 10 (19): 3695. <https://doi.org/10.3390/math10193695>

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

Базилевский Михаил Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры математики, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Mikhail P. Bazilevskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

УДК 004.932
DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-380-388

Безэталонные метрики качества изображений клеток крови

Черных Е.М., Михелев В.М., Петров Д.В.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: jaddyroot@gmail.com

Аннотация. В работе рассматривается проблема оценки качества медицинских изображений, в частности изображений клеток крови, полученных с помощью цифрового микроскопа. Авторами представлено исследование ряда существующих мер характеристик изображений, в числе которых: метрика размытости, энтропии, плоскостности и резкости. Основная цель данного анализа – выделение из рассмотренных характеристик наиболее весомых, которые могли бы достаточно описать анализируемое изображение с точки зрения его качества, как специфической характеристики, воспринимаемой обычным человеком-наблюдателем. В работе была выполнена программная реализация рассматриваемых метрик, а затем разработанные алгоритмы были применены к ряду реальных изображений клеток крови, изначально имеющих различные характеристики, для получения наиболее показательных значений. Полученные численные результаты могут быть использованы для составления ограниченного набора функций, которые могут послужить для построения инструмента оценки и улучшения качества цифровых микроскопических снимков.

Ключевые слова: обработка изображений, компьютерное зрение, микроскопические изображения крови, оценка качества медицинских изображений, размытие, классификация лейкоцитов

Для цитирования: Черных Е.М., Михелев В.М., Петров Д.В. 2023. Безэталонные метрики качества изображений клеток крови. Экономика. Информатика, 50(2): 380–388. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-380-388

No-Reference Blood Cells Images Quality Metrics

Evgeniy M. Chernykh, Vladimir M. Mikhelev, Denis V. Petrov

Belgorod National Research University,
85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia
E-mail: jaddyroot@gmail.com

Abstract. The article discusses the medical images quality assessing problem, in particular, blood cells images obtained with a digital microscope. Image quality assessment is an important step in the post-processing of digital images for their further analysis. This, during the leukocyte cells counting and classification, blood cells images may contain features or artifacts that don't allow performing a proper analysis, or don't allow analysis to be carried out at all. A preliminary assessment the blood cells images quality will allow you to identify images suitable for further analysis, or image whose quality can be improved by operations, such as sharpening, noise removal and etc. The authors present a study of a number of existing measures of image characteristics, including blur, entropy, flatness, and sharpness metrics. The main goal of the study is to get the most significant characteristics from the considered ones, which could adequately describe the analyzed image in terms of its quality as a specific characteristic perceived by an ordinary human observer. In this study, the program implementation of the considered metrics was performed, and those the developed algorithms were applied to a number of real blood cells images, which have initially different features, in order to obtain the most representative values. The obtained numerical results can be used to compile a set of functions that can be used for creating a tool for evaluating and improving the digital microscopic images quality.

Keywords: images processing, computer vision, blood microscopic images, medical images quality assessment, blurring, leukocytes classification

For citation: Chernykh E.M., Mikhelev V.M., Petrov D.V. 2023. No-Reference Blood Cells Images Quality Metrics. Economics. Information technologies, 50(2): 380–388 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-380-388

Введение

В последние годы неуклонно возрастает роль разработки и интеграции всевозможных цифровых и автоматизированных решений в различные сферы человеческой деятельности, в частности сферу здравоохранения. Однако, несмотря на очевидные преимущества внедрения данных инноваций, также значительно возрастает и необходимость контроля и обеспечения качества выполнения тех процессов, в которых применяются внедренные методы или продукты. Так, доказавшие свою эффективность в системах поддержки принятия решений достижения последних лет, позволяющие ускорить трудоемкий процесс анализа данных медицинской визуализации, все еще страдают от отсутствия золотого стандарта оценки качества обрабатываемых медицинских снимков [Chow, Paramesran, 2016].

Важно отметить, что оценка качества медицинских изображений не эквивалентна оценке качества диагностики. Тем не менее, проводящие анализ специалисты или автоматизированные системы поддержки принятия решений смогут предоставить более качественные результаты по отношению к снимкам с наилучшим качеством, что в итоге приведет к правильному лечению [Clunie et al., 2017].

На данный момент одним из основных методов современной медицинской диагностики является клинический анализ крови с построением лейкоцитарной формулы – описания процентного соотношения различных типов клеток лейкоцитов в крови [Волкова, Боровков, 2013]. С момента появления цифровой камеры в середине последнего десятилетия двадцатого века неуклонно возрастал уровень автоматизации цитометрии – техники измерения характеристик клеток – на основе изображений, а в наши дни для применяемых в цифровой микроскопии методов компьютерного зрения и машинного обучения изображения клеток крови являются главным объектом исследования [Батищев, Михелев, Утянский, 2020; Chernykh, Mikhelev, 2021].

Вследствие чего, контроль и обеспечение качества для снимков форменных элементов крови является основной задачей цифровой микроскопии. Поскольку все еще существует потребность в стандартах оценки качества медицинских изображений, целью данной работы является анализ существующих метрик качества изображений на предмет выявления наиболее значимых для решения задачи оценки качества цифровых изображений клеток крови, что позволит с использованием данного набора функций разработать инструмент для предварительной оценки и возможного улучшения качества данных изображений.

Оценка качества медицинских изображений

Процесс оценки качества медицинских изображений имеет большое значение для развития технологии медицинской визуализации, широко используемой для компьютерного обнаружения и диагностики заболеваний с помощью компьютера [16, 20]. Применяемые в современной медицине аппаратные комплексы для получения цифровых данных подвержены влиянию широкого спектра факторов, от которых зависит качество конечных цифровых изображений [Chow, Paramesran, 2016; Ma et al., 2020]. Сюда можно отнести артефакты следующих типов:

- связанные с оборудованием: например, для аппарата МРТ – неоднородность магнитного поля, радиочастотный шум, электромагнитные помехи;
- связанные с человеком: основным фактором в данном случае является движение сканируемых объектов, что приводит к размытию изображения.

В свою очередь, оценка качества изображений может быть субъективной и объективной. Первый тип оценивания выполняется человеком, а второй – математическими алгоритмами. Одной из особенностей объективной оценки является наличие или отсутствие эталонного (референсного) изображения: снимка-образца данной предметной области идеального качества, относительно которого можно оценить любые другие подобные снимки [Ma et al., 2020; Sara, Akter, Uddin, 2019]. Разумеется, оценка качества на основе референса является более простым методом, потому что требуется сравнить ряд характеристик анализируемого изображения и эталонного, например, уровень шума, размытость и т. д. В случае же отсутствия эталона математическим алгоритмам требуется опираться на некоторую относительность в процессе оценки [Голуб, 2021].

Большинство ранних работ, посвященных оценке качества изображений, касались именно сравнения на основе эталонного изображения, однако, оценка такого рода менее практична для приложений реального мира [Chow, Paramesran, 2016; Bosse et al., 2018].

По этой причине исследования последних лет изменили свой вектор в направлении безэталонной оценки качества изображений, а поскольку в медицинской визуализации почти не существует исходного или идеального изображения для использования в качестве эталона, именно безэталонная оценка является наиболее подходящим методом оценки медицинских изображений [Omarova et al., 2023; Haque, Wang, 2022].

Далее будут рассмотрены некоторые существующие метрики оценки качества изображений с целью выделения из них наиболее весомых, которые бы достаточно описывали анализируемое изображения с точки зрения качества, как специфической характеристики, воспринимаемой обычным человеком-наблюдателем.

Анализ метрик качества изображений

Мера размытости. Степень размытости является одним из основных факторов восприятия человеком изображения, ведь даже с субъективной точки зрения почти каждый наблюдатель в состоянии визуально заметить нечеткость объектов и их границ, причинами которых могли стать, например, неправильная настройка фокуса аппаратуры и движение исследуемого объекта. Повышенная степень размытости ухудшает как качественное восприятие, так и влечет за собой потерю информации, необходимую для его анализа [Sagheer, George, 2020; Liu et al., 2020]. Так, в основе своего предложенного метода F. Crete и T. Dolmire используют предположение о том, что человеку трудно визуально воспринимать разницу между изначально размытым изображением и этим же размытым повторно изображением [Crete et al., 2007]. Базируясь на данном явлении для оценки эффекта размытия, авторы предложили свой подход с применением фильтра нижних частот, поскольку размытие вызывается потерей высокочастотной информации.

Ключевая идея данной меры размытости состоит в том, чтобы размыть исходное изображение и проанализировать отличия соседних пикселей. Шаг размытости должен быть выполнен с сильным фильтром нижних частот, чтобы быть уверенным, что размытое исходное изображение будет визуально казаться сильно размытым для человеческого восприятия. Таким образом, количественная оценка размытия изображения происходит путем размытия исходного изображения и сравнения отличий между соседними пикселями до и после применения низкочастотной фильтрации.

На первом шаге вычисляется абсолютная разница по вертикали и горизонтали D_{I_hor} для соседних пикселей в исходном изображении и после применения к нему фильтра для размытия, по формулам (1) и (2) соответственно:

$$D_{I_ver(x,y)} = |I(x,y) - I(x-1,y)|, \quad x = 1 \dots w-1, y = 0 \dots h-1, \quad (1)$$

$$D_{I_hor(x,y)} = |I(x,y) - I(x,y-1)|, \quad x = 1 \dots h-1, y = 0 \dots w-1, \quad (2)$$

где $I(x,y)$ – значение интенсивности для пикселя (x,y) ; h и w – высота и ширина изображения соответственно. По формуле (3) моделируется эффект размытия для размытого изображения B :

$$h_v = \frac{1}{9} \times [111111111], \quad h_h = \text{transpose}(h_v) = h_v', \quad (3)$$
$$B_{ver} = h_v * I, \quad B_{hor} = h_h * I,$$

Расчет значений абсолютной разницы для вертикального и горизонтального направлений размытого изображения вычисляется по формулам (4) и (5) соответственно:

$$D_{B_ver(x,y)} = |B_{ver}(x,y) - B_{ver}(x-1,y)|, \quad x = 1 \dots w-1, y = 0 \dots h-1 \quad (4)$$

$$D_{B_hor(x,y)} = |B_{hor}(x,y) - B_{hor}(x,y-1)|, \quad x = 1 \dots h-1, y = 0 \dots w-1 \quad (5)$$

После этого необходимо проанализировать разницу между соседними пикселями до и после размытия: при сильной разнице будет предполагаться, что исходное изображение

было достаточно резким. Для оценки разницы рассматриваются только те разности, которые уменьшились. По формулам (6) и (7) вычисляются вариации для вертикального V_{ver} и по такому же принципу горизонтального V_{hor} направлений:

$$V_{ver}(x,y) = \max(0, D_{ver}(x,y) - D_{B_ver}(x,y)), \quad x = 1 \dots w-1, y = 0 \dots h-1, \quad (6)$$

$$V_{hor}(x,y) = \max(0, D_{hor}(x,y) - D_{B_hor}(x,y)), \quad x = 1 \dots w-1, y = 0 \dots h-1, \quad (7)$$

Далее вычисляется размытость для вертикального направления по формуле (8) и для горизонтального направления по такому же принципу. В качестве конечной меры выбирается максимальная из полученных двух.

$$F_{blur_ver} = \frac{\sum_{x,y=1}^{w-1,h-1} D_{ver}(x,y) - \sum_{x,y=1}^{w-1,h-1} V_{ver}(x,y)}{\sum_{x,y=1}^{w-1,h-1} D_{ver}(x,y)} \quad (8)$$

Рассмотрим использованием данной метрики для оценки размытости снимков мазков крови, на которых присутствуют лейкоциты, чтобы оценить ее эффективность при анализе исходного снимка, снимка с усиленной резкостью и того же снимка с размытием по Гауссу. На рис. 1 приведены примеры изображения и значения меры размытости в соответствии с описанным выше порядком: левый столбец изображений содержит снимки оригинального качества, центральный столбец – оригиналы с увеличенной резкостью, а правый столбец содержит оригинальный снимок с добавленным размытием по Гауссу. Резкость и размытие были добавлены с помощью стандартного системного графического редактора с использованием одинаковых коэффициентов для каждого из трех образцов, то есть независимо от степени резкости и размытости исходных снимков модифицированные оригиналы содержат одинаковые добавочные резкость и размытие.

Исходя из представленных выше результатов, можно сделать вывод, что все три сильно отличающихся друг от друга исходных снимка из разных наборов данных были оценены мерой размытости в пределах 0.6 – 0.7, добавление дополнительной резкости было также отмечено рассмотренным алгоритмом – значение уменьшилось на несколько десятых долей. Что касается изображений в третьем столбце, к которым было добавлено размытие по Гауссу, значение метрики размытости повысилось на 0.2. Одинаковое смещение в меньшую и большую сторону для резких и размытых снимков соответственно дополнительно характеризует адекватность и эффективность рассмотренной меры, так как ко всем снимкам были применены фильтры одинаковой мощности. Исходя из этого, можно сделать вывод о пригодности применения предложенного авторами подхода безэталонной метрики размытости для анализа снимков клеток крови.

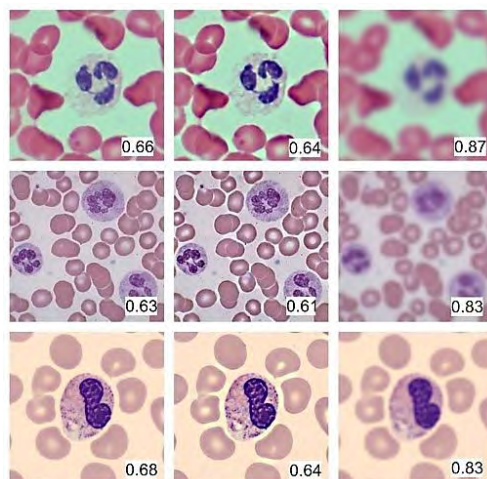


Рис. 1. Значения метрики размытости
Fig 1. Blur metrics values

Мера энтропии. Смысл энтропии заключается в измерении неопределенности, то есть чем больше информации и меньше шума содержит изображение, тем более полезным оно считается [Cui et al., 2019]. Такое предположение позволяет связать полезность картинки с ее объективным качеством [Pal, Pal, 1991]. Далее будет разобрана энтропия Шеннона для всего изображения, переднего и заднего планов по формуле (9):

$$F_{ent} = - \sum_{k=1}^n p(I_k) * \log_2 p(I_k), \quad (9)$$

где I – значение интенсивности пикселя, а $p(I_k)$ – вероятность конкретного значения интенсивности.

Предполагается, что более высокая энтропия должна указывать на большую информативность изображения. К примеру, для изображения с плоскими объектами и малым количеством деталей энтропия должна быть сравнительно небольшой, а изображение, на котором присутствует шум, будет обладать большей энтропией. Поскольку цифровые снимки форменных элементов крови относятся к такому типу медицинских изображений, на которых присутствует множество мелких объектов, расположенных на однотонном светлом плоском фоне, оценка энтропии подобных изображения не будет нести подобного смысла.

Мера плоскостности. Данная метрика была описана в работе [Woodard, Carley-Spencer, 2006] и основана на использовании двумерного дискретного преобразования Фурье для изображения. Полученный результат данного преобразования на первом шаге далее преобразуется в одномерный вектор F_v , а затем по формуле (10) подсчитывается спектральная неравномерность S_F , как отношение среднего геометрического к среднему арифметическому:

$$S_F = \frac{\left(\prod_{k=1}^{wh} |F_v(k)|^2 \right)^{\frac{1}{wh}}}{\frac{1}{wh} \sum_{k=1}^{wh} |F_v(k)|^2}. \quad (10)$$

Предложенная в упомянутой работе результирующая метрика называется мощностью энтропии и получается в результате произведения меры спектральной неравномерности S_F и дисперсии изображения, как следует из формулы (11):

$$F_{flat} = \frac{S_F * 1}{wh \sum_{x=1}^w \sum_{y=1}^h |I(x, y) - \bar{I}|^2}, \quad (11)$$

где $\bar{I}$ – среднее значение яркости изображения.

Предполагается, что чем мера плоскостности выше, тем изображение является наименее прогностическим, информативным и избыточным. Ниже, в табл. 1, приведены полученные значения меры плоскостности для 15 различных изображений клеток крови, которые были получены из пяти исходных снимков путем добавления резкости и размытия по Гауссу.

Таблица 1
Table 1

Значения меры плоскостности для снимков клеток крови
Flatness metric values for the blood cells images

Исходное изображение	Повышенная резкость	Размытие по Гауссу
0.00180529	0.00180529	0.00146311
0.00137635	0.00147743	0.00087129
0.00424279	0.00467318	0.00261831

Окончание табл. 1
End table 1

Исходное изображение	Повышенная резкость	Размытие по Гауссу
0.00173424	0.00196979	0.00154793
0.00282185	0.00315945	0.00179084

Из значений табл. 1 можно заметить, что значения меры для исходных, размытых и изображений с повышенной резкостью в большинстве случаев почти не отличаются, из чего можно сделать вывод о слабой пригодности данной метрики в анализе медицинских изображений данной предметной области.

Мера резкости. Резкость изображения, как обратная размытости характеристика, бесспорно заставляет среднего наблюдателя воспринимать изображение как более информативное, привлекательное и понятное [Zhai, Min, 2020; Yang et al., 2018]. Авторами исследования [Kumar et al., 2012] была предложена метрика, построенная на предположении, что в областях изображения с более резкими краями различия между соседними пикселями больше, чем в других областях. Поэтому авторы вычисляют разность второго порядка для соседних пикселей как дискретный аналог второй производной для изображения, прошедшего через шумоподавляющий медианный фильтр согласно формуле (12):

$$\Delta D_2(x, y) = [I_m(x+1, y) - I_m(x, y)] - [I_m(x, y) - I_m(x-2, y)], \quad (12)$$

где I_m – исходное изображение, к которому был применен медианный фильтр.

Затем авторы вычисляют вертикальную резкость для каждого пикселя S_{ver} , как показано в формуле (13) ниже:

$$S_{ver}(x, y) = \frac{\sum_{x-t \leq k \leq x+t} |\Delta D_2|}{\sum_{x-t \leq k \leq x+t} |I(k, y) - I(k-1, y)|}. \quad (13)$$

Так, пиксель считается резким, если его резкость превышает коэффициент 0.0001. Вычисляется количество резких пикселей $N_{S_{ver}}$, а для подсчета количества крайних пикселей применяется метод Канни, это значение описывается через $N_{E_{ver}}$. Данный процесс повторяется для горизонтального направления, и отношение резкости к краевым пикселям для вертикального и горизонтального направлений вычисляются по формуле (14):

$$F_{sharp} = \sqrt{\left(\frac{N_{S_{hor}}}{N_{E_{hor}}}\right)^2 + \left(\frac{N_{S_{ver}}}{N_{E_{ver}}}\right)^2} \quad (14)$$

Таблица 2 содержит значения метрики резкости для различных снимков клеток крови. Первая колонка описывает полученную меру для исходного изображения, вторая колонка – для изображения с повышенной резкостью, а третья колонка – для размытого исходного снимка.

Таблица 2
Table 2

Значения меры резкости для снимков клеток крови
Sharpness metric values for the blood cells images

Исходное изображение	Повышенная резкость	Размытие по Гауссу
0.1172	0.1573	0.0003
0.0473	0.0577	0.0077
0.2052	0.4082	0.0009
0.3330	0.3149	0.0041

По четырем значениям первого столбца, а также из рис. 2 можно заметить, что исходные изображения изначально имеют различную степень резкости, что было также отмечено алгоритмом.

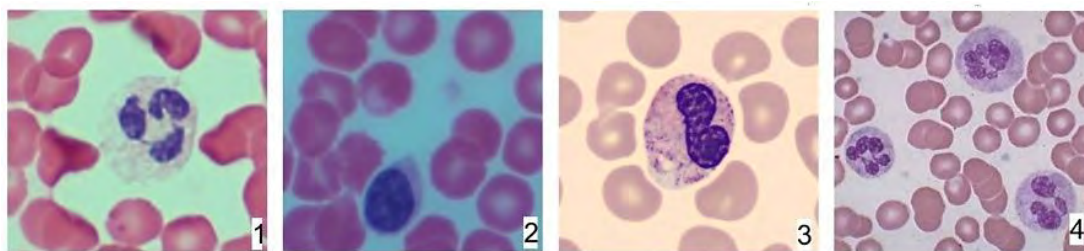


Рис. 2. Исходные изображения форменных элементов крови
Fig. 2. Original blood cells images

Исходя из этого, можно говорить о пригодности меры резкости для изображений такого рода: чем выше полученное численное значение, тем более резким будет восприниматься снимок клеток крови и для человека-наблюдателя.

Заключение

В данной работе была обоснована необходимость оценки качества медицинских изображений, а также их дополнительной предобработки для повышения качества. Было описано отличие большинства используемых метрик на основе эталонных “чистых” изображений, дано понятие безэталонных алгоритмов, использующихся для оценки характеристик изображения только само исходное изображение.

Далее были рассмотрены некоторые существующие безэталонные метрики качества изображений, была разобрана их математическая основа и проведены эксперименты для оценивания их адекватности и пригодности при оценке качества снимков клеток крови. Так, часть из рассмотренных методов оказалась несущественно или вовсе не информативна при анализе снимков клеток крови из-за их природы и особенной, однако, наиболее подходящие по смыслу – такие как меры размытости и резкости, доказали свою эффективность в ходе применения данных алгоритмов на практике.

Полученные результаты оказались достаточно полезными для их дальнейшего использования при разработке инструментов оценки качества изображений клеток крови с целью отделения снимков непригодного качества или же отбора снимков, качество которых может быть улучшено с помощью обратных рассмотренным алгоритмам.

Список литературы

- Батищев Д. С., Михелев В. М., Утянский А. А. 2020. Метод сегментации перекрывающихся форменных элементов крови на микроскопических медицинских изображениях. Экономика. Информатика. 47(4): 803-815.
- Волкова С.А. Боровков Н.Н. 2013. Основы клинической гематологии: учебное пособие. Н. Новгород. Издательство Нижегородской гос. медицинской академии. 400 с.
- Голуб Ю.И. 2021. Оценка качества цифровых изображений. Системный анализ и прикладная информатика. 4: 4-15.
- Bosse S., Maniry D., Müller K. R., Wiegand T., Samek W. 2018. Deep Neural Networks for No-Reference and Full-Reference Image Quality Assessment. IEEE Transactions on image processing. 27(1): 206-219.
- Chernykh E. M., Mikhelev V. M. 2021. A computer system for the leukocytes classification in medical images. In Journal of Physics: Conference Series. 1715(1): 012007
- Chow L. S., Paramesran R. 2016. Review of medical image quality assessment. Biomedical signal processing and control. 27: 145-154.
- Clunie D., Hosseinzadeh D., Wintell M., De Mena D., Lajara N., Garcia-Rojo M., Bueno G., Saligrama K., Stearrett A., Toomey D., Abels E., Apeldoorn F. V., Langevin S., Nichols S., Schmid J., Horchner U., Beckwith B., Parwani A., Pantanowitz L. 2018. Digital Imaging and Communications in Medicine Whole Slide Imaging Connectathon at Digital Pathology Association Pathology Visions 2017. Journal of pathology informatics, 9(1).

- Crete F., Dolmiere T., Ladret P., Nicolas M. 2007. The blur effect: perception and estimation with a new no-reference perceptual blur metric. In Human vision and electronic imaging XII. 6492: 196-206.
- Cui H., Liu Q., Zhang J., Kang B. 2019. An improved deng entropy and its application in pattern recognition. IEEE Access. 7: 18284-18292.
- Haque A., Wang A. S. 2022. Noise2Quality: non-reference, pixel-wise assessment of low dose CT image quality. In Medical Imaging 2022: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment. 12035(1).
- Kumar J., Chen F., Doermann D. 2012. Sharpness estimation for document and scene images. In Proceedings of the 21st International Conference on Pattern Recognition: 3292-3295).
- Liu L., Gong J., Huang H., Sang Q. 2020. Blind image blur metric based on orientation-aware local patterns. Signal Processing: Image Communication. 80: 115654.
- Ma J. J., Nakarmi U., Kin C. Y. S., Sandino C. M., Cheng J. Y., Syed A. B., Wei P., Pauly J. M., Vasanawala S. S. 2020. Diagnostic image quality assessment and classification in medical imaging: opportunities and challenges. Proceedings. IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: 337–340.
- Omarova G., Starovoitov V., Myrzamuratova A., Akzullakyyz L., Takudina A., Tanirbergenov A., Sadirmekova Z. 2023. No-reference quality assessment of medical images using contrast enhancement. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 101(1).
- Pal N. R., Pal S. K. 1991. Entropy: A new definition and its applications. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. 21(5): 1260-1270.
- Sagheer S. V. M., George S. N. 2020. A review on medical image denoising algorithms. Biomedical signal processing and control, 61.
- Sara U., Akter M., Uddin M. S. 2019. Image quality assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—a comparative study. Journal of Computer and Communications. 7(3): 8-18.
- Woodard J. P., Carley-Spencer M. P. 2006. No-reference image quality metrics for structural MRI. Neuroinformatics. 4: 243-262.
- Yang S. J., Berndl M., Michael Ando D., Barch M., Narayanaswamy A., Christiansen E., Nelson P. 2018. Assessing microscope image focus quality with deep learning. BMC bioinformatics. 19: 1-9.
- Zhai G., Min X. 2020. Perceptual image quality assessment: a survey. Science China Information Sciences. 63: 1-52.

References

- Batishchev D.S., Mihelev V.M., Utyanskij A.A. 2020. Method of segmentation of overlapping blood cells on microscopic medical images. Economics. Information technologies. 47 (4): 803–815 (in Russian)
- Volkova S.A. Borovkov N.N. 2013. Osnovy klinicheskoy gematologii: uchebnoe posobie [Fundamentals of Clinical Hematology: A Study Guide]. N. Novgorod. Izdatel'stvo Nizhegorodskoy gos. medicinskoj akademii. 400 p.
- Golub Ju.I. 2021. Ocenka kachestva cifrovyyh izobrazhenij [Digital images quality assessment]. Sistemnyj analiz i prikladnaya informatika. 4: 4-15.
- Bosse S., Maniry D., Müller K. R., Wiegand T., Samek W. 2018. Deep Neural Networks for No-Reference and Full-Reference Image Quality Assessment. IEEE Transactions on image processing. 27(1): 206-219.
- Chernykh E. M., Mikhelev V. M. 2021. A computer system for the leukocytes classification in medical images. In Journal of Physics: Conference Series. 1715(1): 012007
- Chow L. S., Paramesran R. 2016. Review of medical image quality assessment. Biomedical signal processing and control. 27: 145-154.
- Clunie D., Hosseinzadeh D., Wintell M., De Mena D., Lajara N., Garcia-Rojo M., Bueno G., Saligrama K., Stearrett A., Toomey D., Abels E., Apeldoorn F. V., Langevin S., Nichols S., Schmid J., Horchner U., Beckwith B., Parwani A., Pantanowitz L. 2018. Digital Imaging and Communications in Medicine Whole Slide Imaging Connectathon at Digital Pathology Association Pathology Visions 2017. Journal of pathology informatics, 9(1).
- Crete F., Dolmiere T., Ladret P., Nicolas M. 2007. The blur effect: perception and estimation with a new no-reference perceptual blur metric. In Human vision and electronic imaging XII. 6492: 196-206.
- Cui H., Liu Q., Zhang J., Kang B. 2019. An improved deng entropy and its application in pattern recognition. IEEE Access. 7: 18284-18292.
- Haque A., Wang A. S. 2022. Noise2Quality: non-reference, pixel-wise assessment of low dose CT image quality. In Medical Imaging 2022: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment. 12035(1).
- Kumar J., Chen F., Doermann D. 2012. Sharpness estimation for document and scene images. In Proceedings of the 21st International Conference on Pattern Recognition: 3292-3295).
- Liu L., Gong J., Huang H., Sang Q. 2020. Blind image blur metric based on orientation-aware local patterns. Signal Processing: Image Communication. 80: 115654.

- Ma J. J., Nakarmi U., Kin C. Y. S., Sandino C. M., Cheng J. Y., Syed A. B., Wei P., Pauly J. M., Vasanawala S. S. 2020. Diagnostic image quality assessment and classification in medical imaging: opportunities and challenges. *Proceedings. IEEE International Symposium on Biomedical Imaging*: 337–340.
- Omarova G., Starovoitov V., Myrzamuratova A., Akzullakzy L., Takudina A., Tanirbergenov A., Sadirmekova Z. 2023. No-reference quality assessment of medical images using contrast enhancement. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 101(1).
- Pal N. R., Pal S. K. 1991. Entropy: A new definition and its applications. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*. 21(5): 1260-1270.
- Sagheer S. V. M., George S. N. 2020. A review on medical image denoising algorithms. *Biomedical signal processing and control*, 61.
- Sara U., Akter M., Uddin M. S. 2019. Image quality assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—a comparative study. *Journal of Computer and Communications*. 7(3): 8-18.
- Woodard J. P., Carley-Spencer M. P. 2006. No-reference image quality metrics for structural MRI. *Neuroinformatics*. 4: 243-262.
- Yang S. J., Berndl M., Michael Ando D., Barch M., Narayanaswamy A., Christiansen E., Nelson P. 2018. Assessing microscope image focus quality with deep learning. *BMC bioinformatics*. 19: 1-9.
- Zhai G., Min X. 2020. Perceptual image quality assessment: a survey. *Science China Information Sciences*. 63: 1-52.

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

Черных Евгений Михайлович, аспирант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

Михелев Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

Петров Денис Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Evgeniy M. Chernykh, Postgraduate of the Department of Mathematical and Software of Information Systems, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Vladimir M. Mikhelev, Candidate of Technical Sciences, Docent, Assistant Professor of the Department of Mathematical and Software of Information Systems, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Denis V. Petrov, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of Mathematical and Software of Information Systems, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 004.891.3

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-389-397

Структурно-функциональная модель комплексов неразрушающего контроля с системой обработки данных на основе нейронных сетей

М.А. Вожегова

Общество с ограниченной ответственностью «Микромаш»,
Россия, 107078, г. Москва, ул. Новая Басманная, д. 14, стр. 4, офис 405
E-mail: e9268517178@yandex.ru

Аннотация. На современном этапе активизации террористической и контрабандной деятельности, в условиях возрастающей нагрузки на пункты таможенного досмотра и пункты контроля безопасности различных объектов, в том числе транспортной и критической инфраструктуры, изучение вопросов внедрения технологий искусственного интеллекта в системы поддержки принятия решений операторов систем неразрушающего контроля является актуальной задачей. В связи с недостатком открытых решений, которые могут применяться отдельно от реализуемой производителем системы неразрушающего контроля, автором рассмотрен подход к реализации программного комплекса, реализующего распознавание запрещенных предметов с использованием возможностей нейронных сетей. По результатам исследования выделена структура программных модулей и их связей, которые способствуют решению задачи поддержки принятия решений при обнаружении запрещенных предметов, определена основная модель искусственной сверточной нейронной сети, которая будет применяться в рамках разрабатываемого решения.

Ключевые слова: программное обеспечение, система неразрушающего контроля, рентгеновское изображение, обнаружение запрещенных предметов, нейронная сеть

Для цитирования: Вожегова М.А. 2023. Структурно-функциональная модель комплексов неразрушающего контроля с системой обработки данных на основе нейронных сетей. Экономика. Информатика. 50(2): 389–397. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-389-397

Structural-Functional Model of Non-Destructive Testing Complexes With a Data Processing System Based on Neural Networks

Maria A. Vozhegova

Limited Liability Company «Mikromash»,
14 Novaya Basmannaya St, 4 building, 405 office, Moscow, 107078, Russia
E-mail: e9268517178@yandex.ru

Abstract. At the present stage of intensification of terrorist and smuggling activities, in the context of an increasing load on customs inspection points and security control points of various objects, including transport and critical infrastructure, studying the issues of introducing artificial technologies into the decision support systems of operators of non-destructive testing systems is an urgent task. Due with a lack of open solutions that can be used separately from the non-destructive testing system implemented by the manufacturer, the

author considers an approach to the implementation of a software package that implements the recognition of prohibited items using the capabilities of neural networks. Based on the results of the study, the structure of software modules and their connections that contribute to solving the problem of decision support when detecting prohibited items is identified, the main model of an artificial convolutional neural network is determined, which will be used within the framework of the developed solution.

Keywords: software, non-destructive testing system, x-ray image, detection of forbidden objects, neural network

For citation: Vozhegova M.A. 2023. Structural and Functional Model of Non-Destructive Testing Complexes with a Data Processing System Based on Neural Networks. Economics. Information Technologies. 50(2): 389–397 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-389-397

Введение

На данный момент средства неразрушающего контроля и досмотровые комплексы, применяемые для обеспечения безопасности, относятся к системам, которые требуют обязательного присутствия человека на этапе оценки результатов контроля для выявления запрещенных к провозу предметов (например, оружия, запрещенных веществ, незадекларированных товаров и т.д.). При этом результат выполнения задачи по обеспечению безопасности полностью зависит от квалификации и внимательности конкретного сотрудника.

Особенно важным в условиях повышенной террористической опасности становится результат работы сотрудника безопасности – оператора системы неразрушающего контроля (НРК) для объектов транспортной инфраструктуры (аэропорты, железнодорожные и автовокзалы, морские и речные порты), мест скопления большого количества людей (стадионы, площади при проведении массовых мероприятий и т.п.), объектов критической инфраструктуры, постов таможни, режимных объектов и т.д. На большинстве этих объектов за короткий период времени проходит большое количество грузов, транспортных средств, людей с ручной кладью или багажом, и сотрудникам контроля необходимо оперативно выявить потенциальные угрозы. При этом для ряда предприятий определены временные нормативы досмотра грузов, нарушение которых влечет серьезные сбои в функционировании предприятия [Зайцев, Хохлов, 2014].

Например, на таможенном пропускном пункте для досмотра большегрузного автопоезда определено нормативное время нахождения на пункте контроля – 6 минут, из которых 2 минуты отводится на рентгеноскопическое обследование средствами неразрушающего контроля. За это время сотрудники поста должны проанализировать содержимое как груза, так и тягача с полуприцепом, выявить аномалии и определить запрещенные к провозу предметы, сверить полученные данные с декларацией, и в заключении выдать решение «Разрешено / Запрещено». Все это требует большого опыта оператора и постоянной высокой концентрации, что приводит к стрессовым нагрузкам и «выгоранию» сотрудников, что в свою очередь может привести к пропуску запрещенных к провозу предметов через пункт досмотра [Ковалев, 2006].

Современные решения в области НРК представляют собой монолитный программно-аппаратный комплекс, в который встроено программное обеспечение обработки и вывода изображений [Степанова, 2019; Белянин, 2021]. Поставки новых комплексов в современных условиях ограничены, а отсутствие отдельного отечественного программного обеспечения затрудняет модернизировать уже существующие аппаратные модули досмотрового оборудования НРК.

На разработку программного решения, которое возможно будет использовать совместно с уже установленной аппаратной частью досмотрового оборудования НРК, и направлено настоящее исследование.

Разработка структурно-функциональной модели системы обработки данных программно-аппаратных комплексов неразрушающего контроля

Современные технологии искусственного интеллекта позволяют существенно сократить время анализа объектов контроля, подготовить исходные данные для человека-оператора для принятия решения о соответствии объекта заданным критериям, снизить количество операторов и требования к их квалификации, снизить количество ошибок из-за «человеческого фактора» [Морозеев, Степанова, 2022].

Применение технологий искусственного интеллекта для решения задачи по досмотру объектов (грузов) средствами НРК, за счет приведенных факторов, позволит снизить финансовые издержки на содержание и модернизацию пунктов досмотра, применяющих комплексы НРК, обеспечивая на заданном уровне качества решение задачи обнаружения запрещенных предметов [Чаплыгин, 2022].

При этом объективно существуют проблемные моменты в реализации задачи детекции запрещенных предметов на рентгеновском изображении с использованием нейронных сетей [Башлы, Вербов, 2022]:

- требуется создание больших размеченных наборов данных, полученных с различных систем НРК, с учетом того, что перекрытие одного объекта другим создает комплексное теневое изображение, на котором контуры составляющих предметов могут деформироваться из-за влияния других предметов;
- необходимы исследования в области очистки рентгеновских изображений от шумов в целях их корректной разметки;
- необходимы исследования в области влияния использования нескольких изображений, полученных от различных систем, применения мультисенсорных режимов, построения «объемных» моделей и т.д. на результат обнаружения объекта;
- потребность в значительных вычислительных мощностях;
- высокая вероятность ошибок второго рода: объект, по форме похожий на запрещенный (например, игрушечный автомат или нож из пластика), может быть распознан как запрещенный объект.

С учетом указанных проблем, для решения поставленной задачи необходимо разработать ряд программных модулей, предназначенных для:

- обработки, анализа и классификации данных рентгеновского контроля;
- интеграции и синхронизации разнородных данных от применяемых средств НРК различных типов;
- визуализации результатов, полученных в результате анализа изображений;
- автоматического создания цепочки задач машинного обучения (отдельных ее элементов), наиболее подходящей для конкретной задачи анализа (целостности, свойств, состава и геометрических характеристик объектов контроля);
- формирования результирующего вывода системы поддержки принятия решений, на основе сравнительного анализа результатов обработки данных рентгеновского контроля с эталонными значениями;
- администрирования процессов обработки входных данных и визуализации результатов анализа изображения.

Разрабатываемые программные модули существенно расширяют функциональные характеристики существующих программно-аппаратных комплексов НРК путем добавления и использования новых сервисов, обеспечиваемых технологиями искусственного интеллекта, и могут быть интегрированы для совместной работы с любым комплексом НРК сторонних производителей. Разрабатываемый комплекс программных средств устанавливается

локально на серверы Заказчика, используемых совместно с техническими средствами НРК, или поставляется в виде услуги с использованием концепции SaaS.

На основе описанных выше положений предложена структурно-функциональная модель системы НРК, обеспечивающая применение моделей машинного обучения и обнаружение запрещенных объектов (рис. 1).

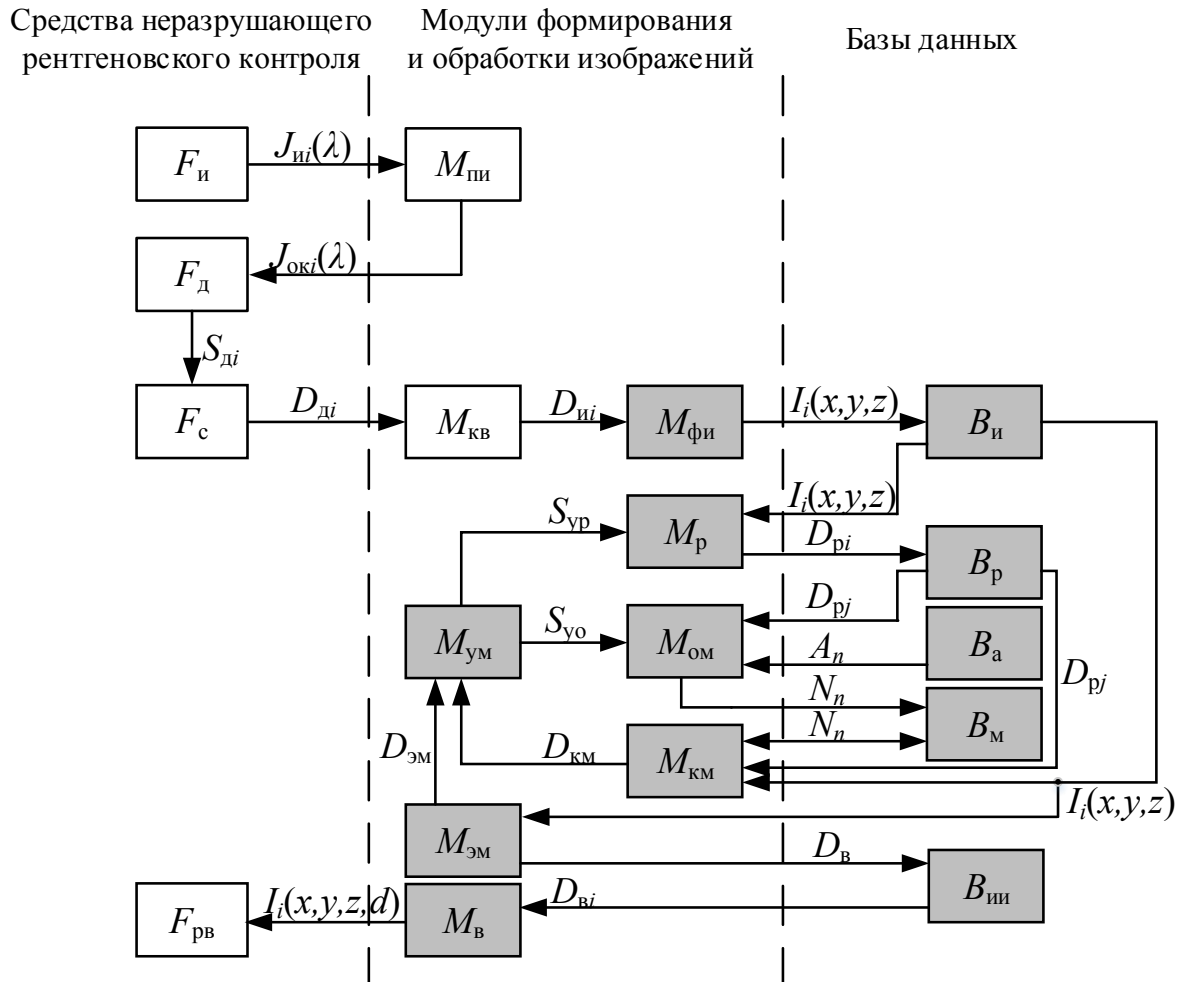


Рис. 1. Модель системы неразрушающего рентгеновского контроля
Fig. 1. Model of a non-destructive X-ray inspection system

В досмотровых системах НРК в качестве источника излучения $F_{\text{и}}$ применяются рентгеновские трубки, формирующие тормозное рентгеновское излучение интенсивностью $J_{\text{и}}(\lambda)$, которая зависит от заданных параметров источника, тока и напряжения анода трубки. Методом прошедшего излучения $M_{\text{пи}}$ производится регистрация детектором $F_{\text{д}}$ излучения, прошедшего через объект контроля интенсивностью $J_{\text{оки}}(\lambda)$. Устройство преобразования сигнала $F_{\text{с}}$ на основании сигналов $S_{\text{дi}}$, полученных с элементов детектора, передает в модуль $M_{\text{кв}}$ данные о полученных сигналах и координатах элемента детектора в момент облучения $D_{\text{дi}}$, где методом квантования производится запись данных об интенсивности «засветки» каждого элемента изображения $D_{\text{иi}}$. По полученным данным в модуле формирования изображения $M_{\text{фи}}$ строится растровое цифровое рентгеновское изображение $I_i(x, y)$ [Григорьев, 2015].

В современных системах НРК применяется мультиэнергетический режим [Удод и др., 2016; Минасян, 2022], при этом все большее развитие получают системы, которые получают изображение контролируемого объекта сразу в нескольких плоскостях [Potapiev, 2021], что позволяет произвести в модуле формирования изображения $M_{\text{фи}}$ построение квазиобъемного изображения исследуемого объекта $I_i(x, y, z)$, например, с использованием воксельной технологии [Cavagnino, Gribaudo, 2010; Nanya et al., 2013], что

позволит повысить вероятность обнаружения и правильной классификации запрещенных предметов за счет обучения нейронной сети определению объекта с разных ракурсов.

Сформированные наборы изображений сохраняются в базе данных (библиотеке изображений) $B_{\text{и}}$. Если предлагаемое программное решение применяется для модернизации уже установленной аппаратной части системы НРК, в библиотеку $B_{\text{и}}$ поступают изображения, сформированные этой системой.

Модуль разметки $M_{\text{р}}$ включает инструменты очистки изображений $I_i(x,y,z)$ от помех с учетом типа данных. Обеспечивает экспертов возможностью выделять и классифицировать признаки, необходимые для формирования обучающих выборок. Разметка применяется с учетом методики с функцией кросс-проверки, предложенной в [Ахметвалеев и др., 2021]. Размеченные образцы предметов интереса $D_{\text{рi}}$ сохраняются в библиотеке $B_{\text{р}}$, которая обеспечивает идентификацию и хранение образцов с версиями разметки для каждого образца, а также содержит информацию о включении образца в наборы данных. Наборы размеченных данных $D_{\text{рj}}$ предназначены для обучения, верификации и контроля работы применяемой модели нейронной сети.

Модуль обучения моделей $M_{\text{ом}}$, используя наборы размеченных данных $D_{\text{рj}}$, а также программные алгоритмы нейронных сетей и методов постобработки результатов $A_{\text{н}}$ из библиотеки алгоритмов $B_{\text{а}}$, обеспечивает потоковое выполнение заданий на обучение моделей с последующим сохранением в очереди на контроль и комплектацию, позволяет осуществлять автоматические проверки совместимости алгоритм – данные, а также анализировать качество работы модели в цепочке: версия набора данных – версия алгоритма – параметры полученной модели [Назаренко, Удод, 2019].

Обученная модель $N_{\text{н}}$ сохраняется в библиотеке моделей $B_{\text{м}}$, которая обеспечивает хранение с указанием версии алгоритма, версии наборов данных, протоколами контрольных испытаний.

Модуль автоматического контроля моделей $M_{\text{км}}$ обеспечивает проверку обученных моделей $N_{\text{н}}$ на контрольных наборах данных из $B_{\text{р}}$ и $B_{\text{и}}$. Данные по результатам контрольных испытаний $D_{\text{км}}$, сохраняются в библиотеке моделей $B_{\text{м}}$ и направляются в модуль управления (администрирования) моделями $M_{\text{ум}}$.

Модуль управления (администрирования) $M_{\text{ум}}$ обеспечивает настройку модулей разметки и обучения моделей через управляющие сигналы, а также управляет ролями и правами пользователей.

Модуль мониторинга и эксплуатации моделей $M_{\text{эм}}$ осуществляет прием входных потоков данных $I_i(x,y,z)$, обеспечивает практическое применение обученных моделей, формирует и отправляет итоговые данные результатов применения моделей $D_{\text{эм}}$ в модуль $M_{\text{ум}}$, осуществляет мониторинг работоспособности и производительности моделей, а также балансировку загрузки ресурсов на основании приоритетов процессов. Основным результатом работы данного модуля являются данные для визуализации $D_{\text{в}}$, которые сохраняются в библиотеке итоговых изображений $B_{\text{ии}}$.

Модуль визуализации и поддержки принятия решений выполняет функции визуализации результатов, полученных в результате анализа изображений: графическое выделение класса объекта, графическое выделение неоднородных зон в классе объекта, формирование результирующего графического изображения $I_i(x,y,z,d)$, которое передается на устройство вывода результатов $F_{\text{рв}}$, на котором к анализу изображения и нанесенных на него данных приступает оператор комплекса НРК. Результатом анализа становится решение оператора «Разрешено / Запрещено».

Выбор модели нейронной сети

С целью выбора наиболее оптимального алгоритма для решения поставленной задачи была проведена апробация алгоритмов машинного обучения разработанных для обработки и анализа изображений. Список архитектур нейронных сетей, которые были использованы:

- Yolo, Framework: Pytorch [Брехт, Коншина, 2022];
- Unet++, Framework: Pytorch [Zhou et al., 2018];
- EfficientDet, Framework: Tensorflow [Tan et al., 2020];
- Resnet-50-backbone, Framework: Pytorch [He et al., 2015];

– Xception-backbone, Framework: Pytorch.

Алгоритм эксперимента содержал следующие этапы:

- нормализация изображений, полученных от системы НРК, и устранение шумов;
- все имеющееся множество подготовленных изображений разделяется на «обучающую» (90%) и «тестовую» (10%) выборки;
- «обучающая» выборка проходит процедуру разметки;
- обучение модели на «обучающей» выборке;
- постобработка изображений, исключение ошибок второго рода, уточнение результатов классификации;
- верификация модели с использованием тестовой выборки.

Модели применялись к независимой тестовой выборке общей для всех алгоритмов. По результатам работы моделей на тестовой выборке, а также по результатам экспериментов приведенных в [Ерохин, Ершов, 2018] экспертами была выбрана оптимальная архитектура решения поставленной задачи – Yolo. Положительными свойствами данной модели являются:

– распознавание предметов проводится путем однократного (в отличие от других алгоритмов) прохождения сразу всего изображения, что позволяет существенно повысить скорость работы алгоритма;

– высокая точность детекции и классификации.

Дополнительно были проведены исследования по применению алгоритма Yolo по анализу рентгеновских изображений и выявлению аномалий (Yolo V7, 7 классов, низкая энергия, размер изображения 2697, без синтетики, снимки обрезаны с помощью Yolo, обученной на детекции машины). В результате были выявлены следующие проблемы:

– для одного и того же эксперимента на разных скоростях и положениях машины обнаруживаются разные объекты. На рис. 2 аномальный объект №1 был обнаружен на снимке с одной скоростью, а объект №2 – на другой.

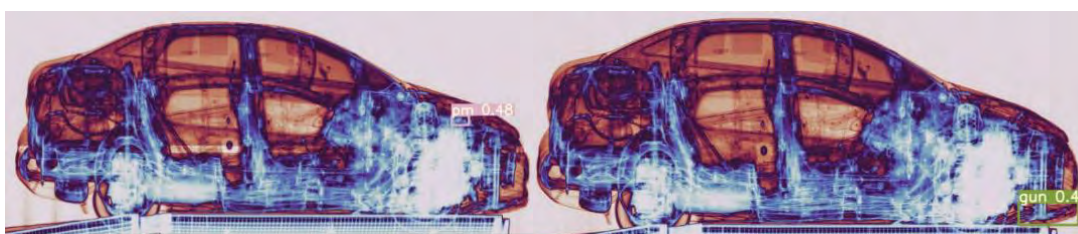


Рис. 2. Результаты обнаружения аномальных предметов
на рентгеновском снимке легкового автомобиля

Fig. 2. Results of detection of anomalous objects on an X-ray image of a car

– низкая вероятность обнаружения тонких и длинных предметов, находящихся в диагональных положениях (рис.3).

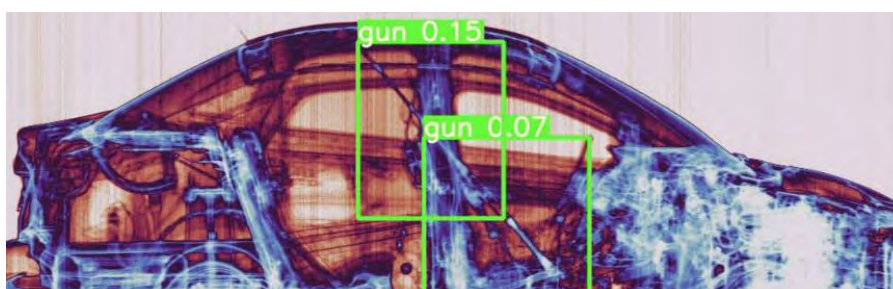


Рис. 3. Результаты обнаружения тонких и длинных предметов
на рентгеновском снимке легкового автомобиля

Fig. 3. Results of detection of thin and long objects in an X-ray image of a car

Заключение

Разработанная структурно-функциональная модель системы обработки данных программно-аппаратных комплексов НРК позволяет приступить к разработке программного комплекса поддержки принятия решений операторов комплексов НРК с использованием возможностей нейронных сетей.

В рамках дальнейшего исследования необходимо выполнить следующие работы:

- подготовка обучающего и тестового набора данных (датасетов) достаточного объема;
- реализация методологии перекрестной проверки в процесс разметки изображений;
- разработка метода и алгоритмов преобразования входных изображений к формату изображений, используемых в обучающих и тестовых выборках;
- подбора гиперпараметров глубокого обучения с целью улучшения качества работы модели Yolo (knowledge distillation, feature engineering и т.д.).

Список литературы

- Ахметвалеев Р.Р. и др. 2021. Методика разметки медицинских изображений с функцией кросс-проверки и интеллектуального сегментирования. Вестник ВШОУЗ, 7, 3: 62–69.
- Башлы П.Н., Вербов В.Ф. 2022. Применение машинного обучения для автоматического анализа снимков инспекционно-досмотровых комплексов. Вестник российской таможенной академии, 2: 123–132. DOI 10.54048/20727240_2022_02_123.
- Белянин К. 2021. Hikvision вывела на российский рынок интеллектуальные интроскопы для досмотра багажа и грузов. URL: <https://hikvision.ru/press/210728103315> (дата обращения: 28 марта 2023).
- Брехт Э.А., Коншина В. Н. 2022. Применение нейронной сети YOLO для распознавания дефектов. Intellectual Technologies on Transport, 2: 41–47. DOI: 10.24412/2413-2527-2022-230-41-47.
- Григорьев М.С. 2015. Функциональная модель системы неразрушающего рентгеновского контроля изделий микроэлектроники с неоднородной структурой. Информационные ресурсы, системы и технологии. 4. URL: <https://irsit.ru/article607> (дата обращения: 28 марта 2023).
- Ерохин Д.Ю., Ершов М.Д. 2018. Современные сверточные нейронные сети для обнаружения и распознавания объектов. Цифровая обработка сигналов, 3: 64–69.
- Зайцев А., Хохлов А. 2014. Показать то, что скрыто. РУБЕЖ, 2(5): 34–37.
- Искусственный интеллект выявит контрабанду. URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2021/04/15/866249-iskusstvennii-intellekt>. (дата обращения: 28.11.2022).
- Ковалев А.В. 2006. Возможности методов неразрушающего контроля в обеспечении национальной безопасности. Мир измерений, 2: 4–10.
- Минасян А.Р. 2022. Методология интерпретации рентгеновских изображений, полученных при таможенном контроле с использованием инспекционно-досмотровых комплексов. Ученые записки Санкт-петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. 2(82): 49–52.
- Морозеев А.К., Степанова В.С. 2022. Проблемы проведения таможенного досмотра товаров и транспортных средств, пути их решения. Сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 85-летию образования ДВГУПС. Под редакцией З.С. Рудневой: 95–100.
- Назаренко С.Ю., Удод В.А. 2019. Применение искусственных нейронных сетей в радиационном неразрушающем контроле. Дефектоскопия, 6: 53–64.
- Степанова К. 2019. Как технологии искусственного интеллекта могут ускорить предполетный досмотр в аэропорту? URL: http://www.press-release.ru/branches/security/kak_tekhnologii_iskustvennogo_intellekta_mogut_uskorit_predpoletnyy_dosmotr_v_aeroportu_21_06_2019_11_16 (дата обращения: 28 марта 2023).
- Удод В.А. и др. 2016. Современное состояние и перспективы развития систем цифровой рентгенографии для дефектоскопии, диагностики и досмотрового контроля объектов. Дефектоскопия, 52, 9: 492–503.
- Чаплыгин М.В. 2022. Умные таможенные технологии в рамках Стратегии развития таможенной службы до 2030 года. Экономика и бизнес: теория и практика. № 4–2. URL:

- <https://cyberleninka.ru/article/n/umnye-tamozhennye-tehnologii-vramkah-strategii-razvitiya-amozhennoy-sluzhbydo-2030-goda> (дата обращения: 03.11.2022).
- Что такое SaaS? URL: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-saas> (дата обращения: 28 марта 2023).
- Cavagnino D, Gribaudo M. 2010. Discretization of 3D models using voxel elements of different shapes. *Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging*: 91-98. DOI: 10.2312/COMPAESTH/COMPAESTH10/091-098.
- Kaiming He et al. 2015. Deep Residual Learning for Image Recognition. URL: <https://arxiv.org/pdf/1512.03385.pdf> (дата обращения: 28 марта 2023).
- Mingxing Tan Ruoming Pang Quoc V. Le. 2020. EfficientDet: Scalable and Efficient Object Detection. URL: <https://arxiv.org/pdf/1911.09070.pdf> (дата обращения: 28 марта 2023).
- Potapiev D. Чем нас досматривают? URL: <https://habr.com/ru/articles/405169/> (дата обращения: 28 марта 2023).
- Scaled YOLO v4 самая лучшая нейронная сеть для обнаружения объектов на датасете MS COCO. URL: <https://arxiv.org/abs/2011.08036> (дата обращения: 28 марта 2023).
- Takaki Nanya, Hiroki Yoshihara, Takashi Maekawa. 2013. Reconstruction of Complete 3D Models by Voxel Integration. *Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing*, 7(3): 362-376. DOI:10.1299/jamdsm.7.362
- Xception. 2021. URL: <https://paperswithcode.com/model/xception?variant=xception-1> (дата обращения: 28 марта 2023).
- Zongwei Zhou, Md Mahfuzur Rahman Siddiquee, Nima Tajbakhsh. 2018. UNet++: A Nested U-Net Architecture for Medical Image Segmentation. URL: <https://arxiv.org/pdf/1807.10165.pdf> (дата обращения: 28 марта 2023).

References

- Akhmetvaleev R.R. et al. Methodology of marking medical images with the function of cross-check and intellectual segmentation. *Vestnik VSHOUZ*, 7, 3: 62-69. (in Russian)
- Bashly P.N., Verbov V.F. 2022. Primenenie mashinnogo obucheniya dlya avtomaticheskogo analiza snimkov inspektsionno-dosmotrovyykh kompleksov. *Vestnik rossiyskoy tamozhennoy akademii*, 2: 123-132. DOI 10.54048/20727240_2022_02_123. (in Russian)
- Belyanin K. 2021. Hikvision vyvela na rossiyskiy rynek intellektual'nye introskopy dlya dosmotra bagazha i gruzov. URL: <https://hikvision.ru/press/210728103315> (data obrashcheniya: 28 marta 2023). (in Russian)
- Brekht E.A., Konshina V.N. 2022. Primenenie neyronnoy seti YOLO dlya raspoznavaniya defektov. *Intellectual Technologies on Transport*, 2: 41-47. DOI: 10.24412/2413-2527-2022-230-41-47 (data obrashcheniya: 28 marta 2023). (in Russian)
- Grigorov M.S. 2015. Funktsional'naya model' sistemy nerazrushayushchego rentgenovskogo kontrolya izdeliy mikroelektroniki s neodnorodnoy strukturoy. *Informatsionnye resursy, sistemy i tekhnologii*. 4. URL: <https://irsit.ru/article607> (data obrashcheniya: 28 marta 2023). (in Russian)
- Erokhin D.Yu., Ershov M.D. 2018. Sovremennye svertochnye neyronnye seti dlya obnaruzheniya i raspoznavaniya ob'ektov. *Tsifrovaya obrabotka signalov*, 3: 64-69. (in Russian)
- Zaytsev A., Khokhlov A. 2014. Pokazat' to, chto skryto. *RUBEZh*, 2(5): 34–37. (in Russian)
- Iskusstvennyy intellekt vyavit kontrabandu. URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2021/04/15/866249-iskusstvennii-intellekt>. (data obrashcheniya: 28.11.2022). (in Russian)
- Kovalev A.V. 2006. Vozmozhnosti metodov nerazrushayushchego kontrolya v obespechenii natsional'noy bezopasnosti. *Mir izmereniy*, 2: 4–10. (in Russian)
- Minasyan A. 2022. Methodology of interpretation of x-ray images received by x-ray inspection systems for customs control. *Scientific notes of the St. Petersburg named after V.B. Bobkov branch of the Russian customs academy*, 2(82): 49-52. (in Russian)
- Morozeev A.K., Stepanova V.S. 2022. Problemy provedeniya tamozhennogo dosmotra tovarov i transportnykh sredstv, puti ikh resheniya. *Sbornik dokladov V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 85-letiyu obrazovaniya DVGUPS. Pod redaktsiey Z.S. Rudnevoy*: 95–100. (in Russian)

- Nazarenko S.Yu., Udod V.A. 2019. Primenenie iskusstvennykh neyronnykh setey v radiatsionnom nerazrushchayushchem kontrole. Defektoskopiya, 6: 53-64. (in Russian)
- Stepanova K. 2019. Kak tekhnologii iskusstvennogo intellekta mogut uskorit' predpoletnyy dosmotr v aeroportu? URL:http://www.press-release.ru/branches/security/kak_tekhnologii_iskusstvennogo_intellekta_mogut_uskorit_predpoletnyy_dosmotr_v_aeroportu_21_06_2019_11_16 (data obrashcheniya: 28 marta 2023). (in Russian)
- Udod V.A. et al. 2016. State of the art and development prospects of digital radiography systems for nondestructive testing, evaluation, and inspection of objects: a review. Russian Journal of Nondestructive Testing, 52, 9: 492-503. (in Russian)
- Chaplygin M.V. 2022. Umnye tamozhennye tekhnologii v ramkakh Strategii razvitiya tamozhennoy sluzhby do 2030 goda. Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. № 4–2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/umnye-tamozhennye-tehnologii-vramkah-strategii-razvitiya-amozhennoy-sluzhbydo-2030-goda> (data obrashcheniya: 03.11.2022). (in Russian)
- Chto takoe SaaS? URL:<https://azure.microsoft.com/ru-ru/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-saas> (data obrashcheniya: 28 marta 2023). (in Russian)
- Cavagnino D, Gribaudo M. 2010. Discretization of 3D models using voxel elements of different shapes. Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging: 91-98. DOI: 10.2312/COMPAESTH/COMPAESTH10/091-098.
- Kaiming He et al. 2015. Deep Residual Learning for Image Recognition. URL: <https://arxiv.org/pdf/1512.03385.pdf> (data obrashcheniya: 28 marta 2023).
- Mingxing Tan Ruoming Pang Quoc V. Le. 2020. EfficientDet: Scalable and Efficient Object Detection. URL: <https://arxiv.org/pdf/1911.09070.pdf> (дата обращения: 28 марта 2023).
- Potapiev D. Chem nas dosmatrivayut? URL: <https://habr.com/ru/articles/405169/> (data obrashcheniya: 28 marta 2023). (in Russian)
- Scaled YOLO v4 samaya luchshaya neyronnaya set' dlya obnaruzheniya ob"ektov na datasete MS COCO. URL: <https://arxiv.org/abs/2011.08036> (data obrashcheniya: 28 marta 2023). (in Russian)
- Takaki Nanya, Hiroki Yoshihara, Takashi Maekawa. 2013. Reconstruction of Complete 3D Models by Voxel Integration. Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing, 7(3): 362-376. DOI:10.1299/jamdsm.7.362
- Xception. 2021. URL: <https://paperswithcode.com/model/xception?variant=xception-1> (data obrashcheniya: 28 marta 2023).
- Zongwei Zhou, Md Mahfuzur Rahman Siddiquee, Nima Tajbakhsh. 2018. UNet++: A Nested U-Net Architecture for Medical Image Segmentation. URL: <https://arxiv.org/pdf/1807.10165.pdf> (data obrashcheniya: 28 marta 2023).

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

Вожегова Мария Андреевна, кандидат экономических наук, научный руководитель проектов общества с ограниченной ответственностью «Микромаш», г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Maria A. Vozhegova, PhD in Economics, scientific director of projects of the limited liability company «Mikromash», Moscow, Russia



УДК 681.326.3

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-398-409

Синтез структурных и технических решений при проектировании установки микродугового оксидирования

¹ Яценко В.М., ² Ломакин В.В.

¹ МИП ООО «ЭЛСИС БелГУ»,

Россия, 308034, г. Белгород, ул. Королева 2а, корпус 4, офис 103

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

E-mail: yatsenko_vm@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье описывается процесс синтеза структурных и технических решений при создании технологической установки для проведения научных исследований в области микродугового оксидирования вентильных металлов. Определены критерии и рассмотрены решения при выборе типа технологического источника тока для создания исследовательской установки. Обоснованы требования к наличию нескольких реализуемых режимов обработки перечню измеряемых параметров процесса для обеспечения последующего синтеза математических моделей, связывающих свойства покрытий с измеряемыми параметрами и режимами обработки. Рассмотрены основные этапы создания установки: разработка функциональной схемы, формирование требований к программному и аппаратному обеспечению, синтез структуры установки, процесс принятия решений по необходимому функциональному обеспечению, декомпозиция решения с формированием требований к отдельным подсистемам и блокам. Приведены общая и структурная схемы установки, а также структура создаваемого аппаратного обеспечения технологического источника тока. Описаны отдельные создаваемые электронные модули и их ключевые особенности. Определены основные требования к необходимому быстродействию системы измерения параметров процесса и системе обеспечения безопасности персонала и оборудования.

Ключевые слова: структурные и технические решения при создании оборудования, микродуговое оксидирование, функциональные возможности, функциональные блоки, режимы микродугового оксидирования, параметры режимов микродугового оксидирования, свойства покрытий

Для цитирования: Яценко В.М., Ломакин В.В. 2023. Синтез структурных и технических решений при проектировании установки микродугового оксидирования. Экономика. Информатика, 50(2): 398–409. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-398-409

Synthesis of Structural and Technical Solutions in the Design of a Microarc Oxidation Plant

¹ Vladimir M. Yatsenko, ² Vladimir V. Lomakin

¹ SIE LLC "ELSYS BelGU",
2a Koroleva St, building 4, office 103, Belgorod, 308034, Russia

² Belgorod State National Research University,
85 Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russia

E-mail: yatsenko_vm@bsu.edu.ru

Abstract. The article describes the process of synthesis of structural and technical solutions when creating a technological installation for scientific research in the field of microarc oxidation of valve metals. Criteria are defined and decisions are considered when choosing the type of technological current source for creating a research facility. The requirements for the presence of several realizable processing modes, the list of measured process parameters to ensure the subsequent synthesis of mathematical models that relate the properties of coatings with the measured parameters and processing modes are substantiated. The main stages of installation creation are considered: development of a functional diagram, formation of requirements for software and hardware, synthesis of the installation structure, decision-making process on the necessary functional support, solution decomposition with the formation of requirements for individual subsystems and blocks. The general and structural diagrams of the installation, as well as the structure of the created hardware for the technological current source, are given. Separate created electronic modules and their key features are described. The basic requirements for the required speed of the system for measuring process parameters and the system for ensuring the safety of personnel and equipment are determined.

Keywords: structural and technical solutions in the creation of equipment, microarc oxidation, functionality, functional blocks, microarc oxidation modes, parameters of microarc oxidation modes, coating properties

For citation: Yatsenko V.M., Lomakin V.V. 2023. Synthesis of Structural and Technical Solutions in the Design of a Microarc Oxidation Plant. Economics. Information technologies, 50(2): 398–409 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-398-409

Введение

Процесс формирования многофункциональных покрытий на вентильных металлах с помощью МДО производится с использованием широкого спектра технологического оборудования, которое имеет существенно различные возможности как по режимам обработки, так и по возможностям измерения и управления процессом [Суминова, 2005]. При исследовании системных зависимостей между режимами обработки, параметрами режима обработки и свойствами покрытий необходимо специальное оборудование, обеспечивающее исследователя необходимыми возможностями в области реализации режимов обработки, а также получения, хранения и анализа экспериментальных данных.

Известны исследования [Герасимов, 2008, Голубков, 2015, Гринченков, 2011, Людин, 2008, Павленко, 2011], в которых создавались установки для изучения влияния параметров и режимов обработки на формируемые покрытия. Однако возможности описываемых установок достаточные для решения поставленных перед исследователями задач оказываются недостаточными для поиска более общих зависимостей. Для решения задачи по синтезу режимов и параметров обработки на основании требований к покрытиям, а также влиянию измеряемых параметров процесса на свойства покрытий требуется разработка специализированного оборудования с функциями измерения, накопления, анализа данных и синтеза моделей.

Рассмотрим основные этапы создания серийной установки, предназначенной для проведения научных исследований в области МДО, которая обладала бы следующим рядом ключевых особенностей: изменяемой схемой силовой части для исследования различных

технологических режимов, возможностью создания режимов обработки в виде рецептов (последовательностей режимов) с хранением их в БД, системой измерения параметров протекающего процесса с записью их в БД, аналитическими функциями программного обеспечения по выбору режимов обработки для получения заданных свойств покрытия [Асадулаев, 2017], функциями наблюдения за параметрами покрытия в процессе МДО системой автоматических защит и блокировок для безопасной работы персонала. В результате проектирования была синтезирована следующая функциональная схема установки (рисунок 1). Помимо основных элементов, присущих подобным установкам, предлагается включение следующих дополнительных подсистем:

- подсистемы выбора режима обработки, которые помогают оператору выбрать оптимальные параметры режима обработки;
- подсистемы наблюдения за параметрами покрытия, которые предоставляют оператору информацию о свойствах покрытия в процессе обработки;
- подсистемы слежения, которые выполняют мониторинг работы подсистемы косвенных измерений [Фаткуллин, 2016] и подсистемы выбора режимов обработки, позволяет выполнить их настройку.



Рис. 1. Функциональная схема установки МДО для научных исследований
Fig. 1. Functional diagram of the MAO facility for scientific research

Установка МДО состоит из технологического источника тока (ТИТ), в котором происходит формирование электрических импульсов специальной формы; электролитической ванны, в которой происходит процесс МДО; электромеханического узла, в котором обеспечиваются условия протекания процесса; автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора, который выполнен на базе персонального компьютера (ПК) с предустановленным программным обеспечением (ПО). Была выбрана система управления установкой состоящая из двух взаимосвязанных частей: одна – на базе контроллера управления технологическим источником тока и вторая – на базе персонального компьютера (АРМ оператора). При этом были приняты во внимание следующие сильные стороны каждой из систем:

- оперативное управление силовыми цепями установки и измерения необходимо выполнять с максимальной надежностью, без задержек (в реальном масштабе времени) что подразумевает использование специализированного контроллера с операционной системой реального времени;

– гибкие возможности персонального компьютера, такие как: привычный интерфейс ПК, организация БД с существенными объемами данных и обеспечении доступа к ней и ее целостности на уровне ПО ПК на базе специализированной СУБД, возможности представления и преобразования информации (графики, таблицы, отчеты, обмен данными), наличие специальных программ для работы с нейронными сетями по обработке данных и синтезу моделей, гибкость в модернизации и расширении функциональных возможностей в последствии.

На рисунке 2 приведена общая схема установки. Вводное устройство выполняет функции включения-выключения, защиту входных цепей от перегрузок и короткого замыкания (КЗ). Дополнительно вводное устройство обеспечивает реализацию функций защиты персонала от поражения электрическим током. Преобразование электрического тока сети в требуемый для нагрузки электрический ток осуществляется в энергетических цепях ТИТ, в составе которых функционируют силовые полупроводниковые и электромеханические ключи, а также блоки силовых конденсаторов. Управление силовыми ключами и блоками конденсаторов осуществляется с помощью системы управления. Система управления обеспечивает оперативное управление энергетическими цепями ТИТ, контролируя состояние процессов преобразования энергии, происходящих в энергетических цепях с помощью измерительных цепей.

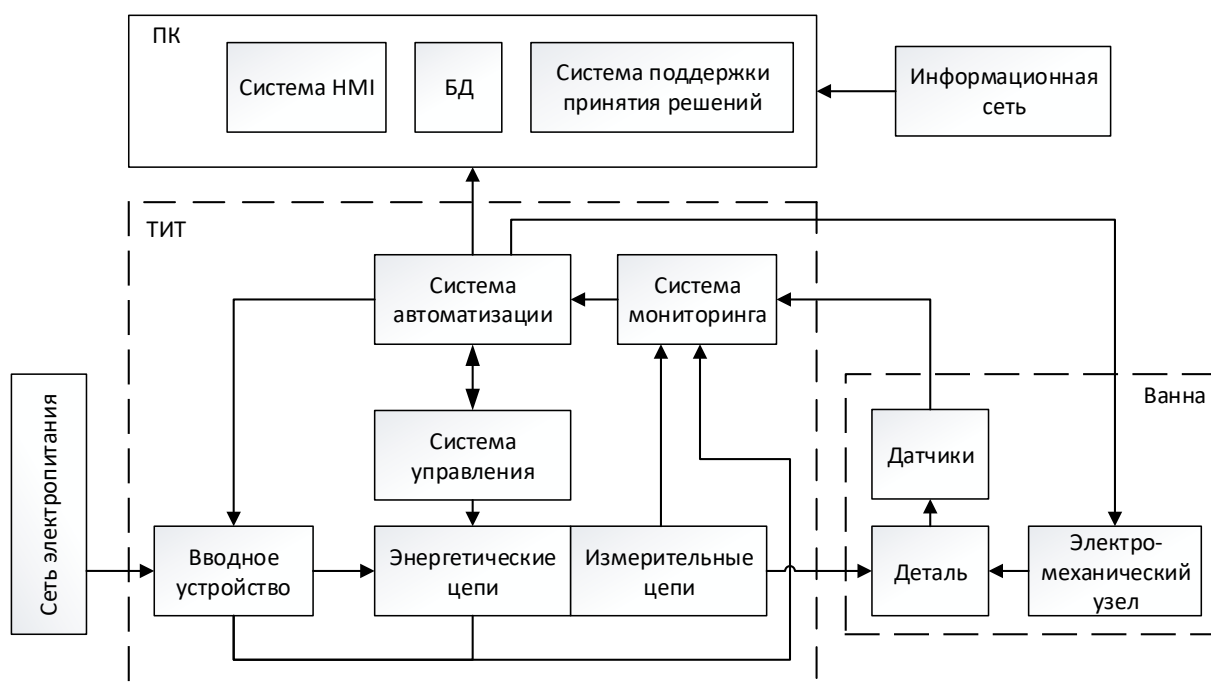


Рис. 2. Общая схема установки МДО
Fig. 2. General scheme of the MAO installation

Общее управление ТИТ выполняет система автоматизации. Система автоматизации обеспечивает управление оборудованием внешнего электромеханического узла, который формирует необходимые условия протекания процессов в нагрузке. Система автоматизации обеспечивает функционирование ТИТ на основе внешнего задания и информации, поступающей из системы мониторинга. Система мониторинга выполняет функции сбора и обработки информации датчиков протекания процесса, информации полученной от измерительных цепей и органов управления.

Система НМИ обеспечивает человеко-машинное взаимодействие с оператором, формирование управляющих команд в системе автоматизации, визуализацию процессов, протекающих в ТИТ, электромеханическом узле и нагрузке, а также хранение, обработку и отображение полученной в процессе работы информации. Система НМИ состоит из

специального программного обеспечения установленного на ПК оператора процесса и панели оператора установленной на двери ТИТ.

С целью повышения стабильности условий протекания процесса формирования покрытия в состав электромеханического узла установки были включены: система охлаждения электролита (змеевик), система гомогенизация раствора (лопастная мешалка, система барботажа), система вращения обрабатываемой детали.

Технологический источник тока

Технологический источник тока на практике определяет основные параметры и возможности установки МДО в части формирования режимов обработки [Печерская, 2019, Печерская, 2019, Пономарев, 2013] и измерение параметров процесса, а также определяет основную часть стоимости [Яценко, 2015]. При его выборе были рассмотрены варианты различных существующих решений (рис. 3). На первом этапе были определены кластеры критериев оценки, базирующиеся на функциональных возможностях (критериях). В результате анализа возможных альтернатив с учетом требований к необходимому функциональному обеспечению (возможность проведения научных исследований различных режимов, модернизации режимов, стабилизации режимов) было принято решение в качестве ТИТ использовать тиристорно-конденсаторную установку. Для системы мониторинга свойств покрытий, базирующейся на косвенных измерениях на основе информации о протекающих электрических процессах в нагрузке и температурных параметрах в ванне, были учтены требования к измерению формы напряжений и токов нагрузки [Голубков, 2022, Мамаев, 2005]. Это потребовало разработки специального быстродействующего высоковольтного блока измерений.

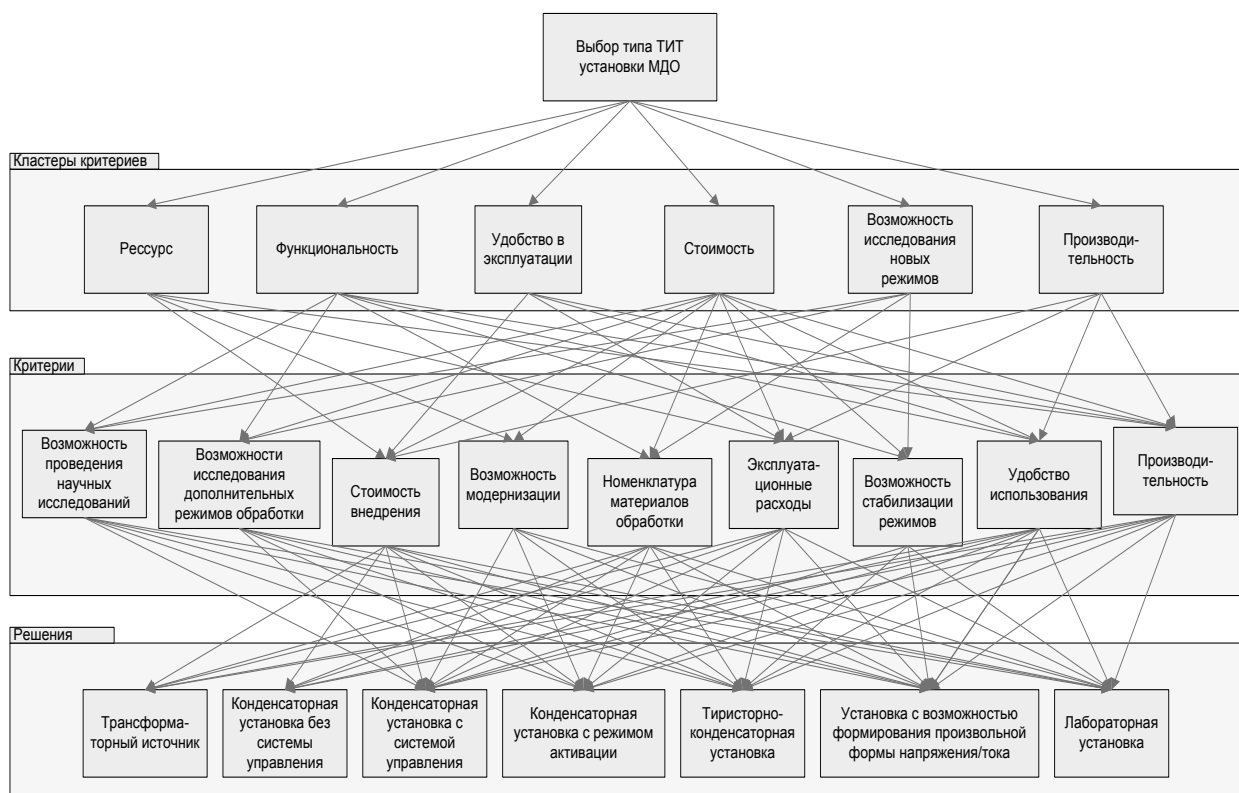


Рис. 3. Иерархия выбора ТИТ для установки МДО
Fig. 3. Hierarchy of TIT selection for MAO installation

На структурной схеме (рис. 4) приведены основные функциональные блоки установки и связи между ними. Центральным элементом является блок управления. Он обеспечивает управление всеми элементами ТИТ (силовым преобразователем, блоком управления

тиристорами, блоками измерения электрических и не электрических параметров) и электромеханического узла, а также функционирование системы аварийных защит. Блок управления связан с ПК, на котором выполняется программа АРМ оператора.

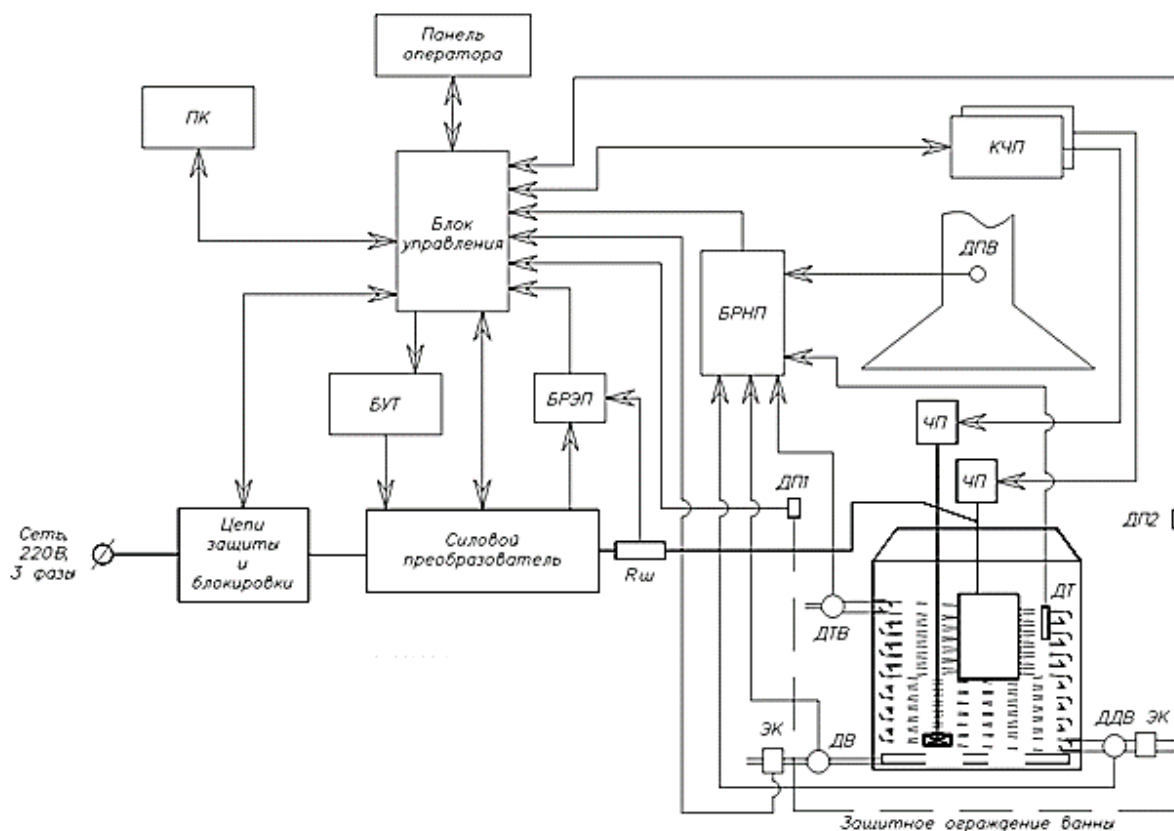


Рис. 4. Структурная схема установки МДО:

ПК – персональный компьютер; БУТ – блок управления тиристорами;
БРЭП – блок регистрации электрических параметров;
БРНП – блок регистрации неэлектрических параметров; Rш – токовый шунт;
КЧП – контроллер частотного привода; ДПВ – датчик потока воздуха;
ЧП – частотный привод; ДП1, ДП2 – датчики доступа к ванне;
ДТВ – датчик температуры системы охлаждения; ЭК – клапан системы барботажа;
ДВ – датчик давления воздуха системы барботажа; ДТ – датчик температуры раствора;
ДДВ – датчик давления системы охлаждения; ЭК – клапан системы охлаждения.

Fig. 4. Structural diagram of the MDO plant:

PC – personal computer; BUT – thyristor control unit;
BREP – electrical parameters recording unit; BRNP – non-electrical parameters recording unit;
R-rod shunt; KChP – frequency drive controller; DPV – air flow sensor; FC – frequency drive;
DP1, DP2 – bath access sensors; DTV – cooling system temperature sensor;
EC – bubbling system valve; DV – bubbling system air pressure sensor;
DT – solution temperature sensor; DDV – cooling system pressure sensor;
EC – cooling system valve.

Силовая часть источника тока (рис. 5) была разработана с возможностью изменения структуры. Гибкие возможности изменения силовой структуры ТИТ с помощью магнитных пускателей и управление формой импульсов с помощью тиристоров обеспечивают возможность исследования различных режимов обработки (табл. 1), а также смену режима в процессе обработки с реализацией различных последовательностей и длительностей режимов (рецепты). Силовая схема установки позволяет также выполнять установку любых значений емкости конденсаторных батарей в диапазоне от 1,0 до 1250 мкФ с дискретностью 1,0 мкФ, а также выполнять балансировку и калибровку конденсаторов в батареях (C1 и C2) с

целью максимально точной установки заданной емкости и симметричности режима при обработке. Коммутация конденсаторов в батареях выполняется таким образом, чтобы максимально приблизить емкость батареи к заданной на основании реальных данных емкости каждого конденсатора батареи.

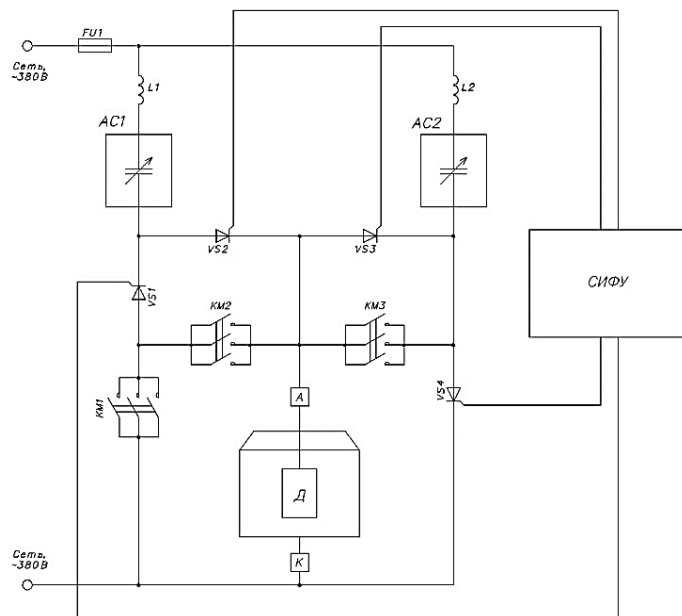


Рис. 5. Электрическая принципиальная схема силовой части ТИТ
(KM1-KM3 – электромагнитные пускатели;
СИФУ – система импульсно-фазного управления; Д – деталь;
VS1-VS4 – тиристоры; AC1-AC2 – батареи конденсаторов; L1-L2 – дроссели)
А – анод (деталь), К – катод (ванна)
Fig. 5. Electrical circuit diagram of the power part of the TIT
(KM1-KM3 – electromagnetic starters; SIFU – pulse-phase control system;
D – detail; VS1-VS4 – thyristors; AC1-AC2 – capacitor banks; L1-L2 – chokes)
A – anode, K – catode (tank)

Таблица 1
Table 1

Реализуемые режимы обработки и их возможности
Implemented processing modes and their capabilities

Ре- жим	Форма импульсов	Управление фронтом	I_K/I_A	Частота, Гц
1	Обработка синусоидальными импульсами напряжения без регулирования фронтов и спадов при равных плотностях анодного и катодного токов. Среднее значение выходного тока зависит от емкости батареи конденсаторов. Частота следования импульсов напряжения составляет 50 Гц	нет	1	50, ~17
2	Обработка импульсами напряжения синусоидальной или пилообразной форм с регулируемыми фронтами анодных и/или катодных импульсов. Среднее значение анодного тока I_A зависит от емкости батареи C1, а катодного I_K – C2.	да	0 - ∞	~17
3	Обработка импульсами напряжения синусоидальной формы с регулируемыми фронтами (жесткостью режима) анодных и/или катодных импульсов. Среднее значение анодного тока I_A зависит от емкости батареи C1, а катодного I_K – C2.	да	0 - ∞	50

Окончание табл. 1
End table 1

Ре- жим	Форма импульсов	Управление фронтом	I_K/I_A	Частота, Гц
4	Обработка импульсами напряжения синусоидальной формы с регулируемыми фронтами (жесткостью режима) анодных и/или катодных импульсов. Среднее значение анодного тока равно катодному и зависит от емкости батареи конденсаторов.	да	1	50
5	Обработка импульсами напряжения синусоидальной формы с возможностью наложения на них пилообразных импульсов, на их фронтах или спадах. Напряжение наложения регулируется контроллером. Среднее значение катодного тока определяется емкостью батареи C1, а анодного суммой емкостей C1 и C2.	да	< 1	50
6	Обработка импульсами напряжения синусоидальной формы с возможностью наложения на них пилообразных импульсов, на их фронтах. Напряжение наложения регулируется контроллером. Среднее значение анодного тока определяется емкостью батареи C1, а катодного суммой емкостей C1 и C2.	да	> 1	50
7	Обработка импульсами напряжения синусоидальной формы с регулируемыми спадами анодных и/или катодных импульсов. Среднее значение выходного тока зависит от емкости батареи C1.	да	1	50

Блок управления ТИТ

Блок управления ТИТ построен на базе собственного контроллера, разработанного специально для данной установки. Это обеспечило необходимые функции измерения и управления в режиме реального времени, а также позволило внедрить многоступенчатую систему защиты и блокировок (на уровне ТИТ). Контроллер состоит из центрального блока и отдельных функциональных модулей расширения, соединение между модулями выполнено информационной шиной I2C (рис. 6). Такая система может быть сконфигурирована под различное количество входов и выходов, иметь несколько блоков измерений и блоков управления тиристорами или транзисторами. Программное обеспечение контроллера защищено свидетельством на ПО [Яценко].

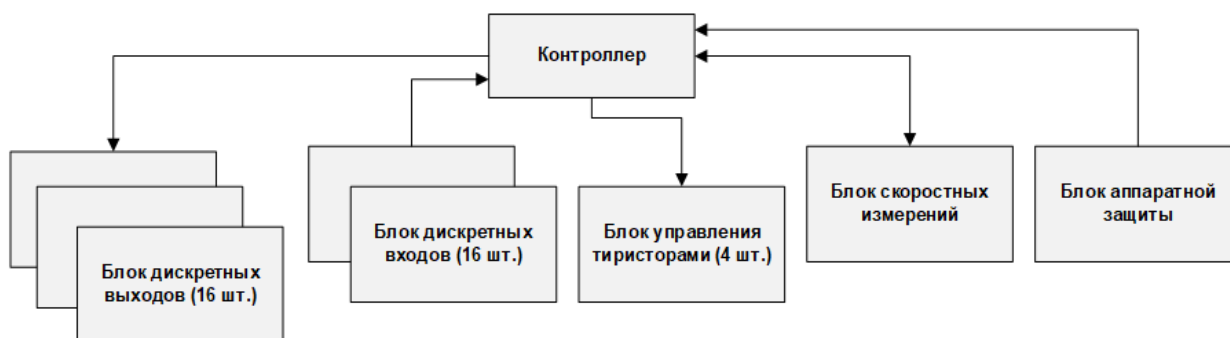


Рис. 6. Контроллер ТИТ с блоками расширения
Fig. 6. TIT controller with expansion units



В составе установки блок контроллера непосредственно обеспечивает:

- взаимодействие по интерфейсу Ethernet с ПК, на котором выполняется АРМ оператора,
- взаимодействие с графической панелью оператора для отображения оперативных параметров процесса,
- управление силовыми коммутационными аппаратами через блоки дискретных выходов,
- регистрацию электрических параметров силовых цепей с помощью блока скоростных измерений,
- управление силовыми тиристорами,
- управление частотными приводами вращения детали и лопастной мешалки,
- управление световой и звуковой сигнализацией,
- взаимодействие с блоком аналоговых вводов для измерения температуры электролита и охлаждающей жидкости, давления охлаждающей жидкости, давления воздуха в системе барботажа и скорости потока воздуха в системе вытяжной вентиляции,
- управление клапанами барботера и охлаждающей жидкости,
- получение со счетчика электрической энергии информации о параметрах потребляемой электрической энергии и качестве питающего напряжения,
- детектирование аварийных и предупредительных событий с переключением оборудования в соответствующее контролируемое состояние.

Основной задачей при разработке систем управления и автоматизации ТИТ было обеспечение необходимой скорости регистрации электрических и физических параметров процесса МДО, а также достижение необходимого быстродействия в управлении силовой частью установки. Частота измерения электрических параметров для регистрации параметров микродуг и формы импульсов тока была выбрана 50 кГц, а время реакции на аварийные события не более 10 мкс. Также обеспечивается синхронность управления временем открытия тиристоров на уровне не хуже 25 мкс.

Особое внимание при разработке оборудования уделялось защите оборудования и персонала от поражения электрическим током (ввиду возможного напряжения порядка 1000 В), а также контролю выхода параметров в контролируемых цепях за допустимые пределы, для чего были предусмотрены и внедрены 5 различных контуров защиты оборудования:

1-й контур: логическая защита в ПО АРМ установки МДО (защита от включения установки без необходимых прав доступа оператора, защита от изменения рецептов обработки, защита при выходе параметров силовых цепей за допустимые границы, защита при выходе за допустимый диапазон напряжения питания, защита по выходу параметров процесса обработки за установленные границы);

2-й контур: логическая защита на базе контроллера ТИТ (проверка последовательности включения силовых элементов с контролем их состояния, непредвиденного появления напряжений на силовых элементах схемы, отсутствия необходимых напряжений в контрольных точках, превышения допустимых уровней напряжений и токов);

3-й контур: защита оборудования от несанкционированного доступа в процессе обработки (открытие дверей ТИТ или ограждения электромеханического узла во время обработки, открытия дверей шкафа ТИТ, потери связи между контроллером и ПК);

4-й контур: защита от несанкционированного появления опасного потенциала на электролитической ванне или на обрабатываемой детали;

5-й контур: аппаратная защита от превышения допустимых электрических параметров на компонентах силового оборудования (превышение тока в цепях конденсаторов и в основной силовой цепи, в цепях питания оборудования управления, возникновения импульсных перенапряжений и т.д.).

Ниже приводятся основные особенности разрабатываемых блоков.

Блок контроллера управления ТИТ. Обеспечивает обмен данными по интерфейсам Ethernet (с ПК) и RS-485 (с панелью оператора, со счетчиком электрической энергии, с блоками частотного привода, с блоком ввода аналоговых сигналов). Контроллер выполнен на базе микроконтроллера STM32F407. В качестве операционной системы реального времени была выбрана ChibiOS версии 2.6. Внешний вид контроллера со снятой крышкой приведен на рисунке 7. Высокое быстродействие контроллера позволяет регистрировать формы напряжения и тока питающей сети, нагрузки, конденсаторных батарей, формы напряжений и токов в силовом преобразователе (выполняется более 1000 измерений на одну волну сетевого

напряжения), а также управлять жесткостью режимов обработки за счет управления моментом включения силовых тиристоров в каждой полуволне сетевого напряжения.

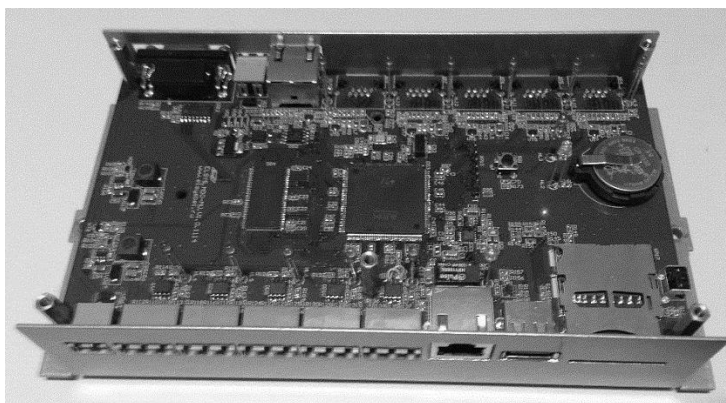


Рис. 7. Контроллер ТИТ
Fig. 7. TIT controller

Блок управления силовыми тиристорами. Обеспечивает управление 4-мя силовыми тиристорами в цепях, где напряжение может достигать 1,2 кВ. Обеспечивает необходимый уровень гальванической развязки с цепями управления и защиту тиристоров от импульсных перенапряжений. Внешний вид блока управления тиристорами со снятой крышкой приведен на рисунке 8.

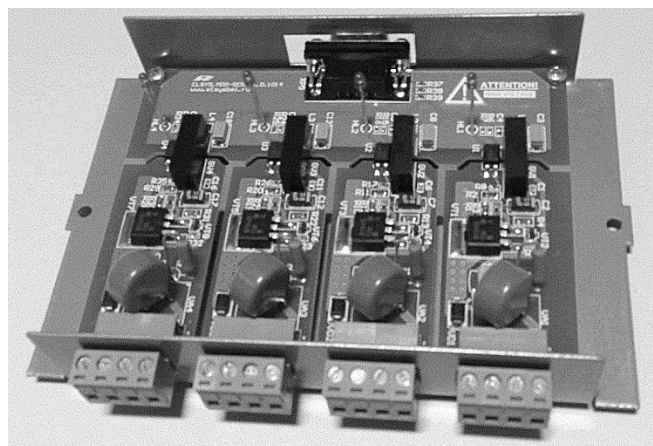


Рис. 8. Блок управления тиристорами
Fig. 8. Thyristor control unit

Блок скоростных многоканальных измерений напряжений и токов (уровень до 1,2 кВ). Обеспечивает 6 каналов высокоскоростных (до 50 кГц) измерений напряжения и 2 канала измерения тока в силовом блоке ТИТ. В качестве аналогового-цифрового преобразователя выбрана микросхема фирмы Analog Devices AD7699. Гальваническая развязка интерфейса выполнена на уровне 2 кВ. Печатная плата блока приведена на рисунке 9а.

Блоки расширения ввода и вывода дискретных сигналов (рис. 9б, 9в). Каждый из разработанных блоков дискретных входов и выходов обеспечивает по 16 дискретных каналов и уровень гальванической развязки не ниже 2 кВ.

Блок аппаратной защиты (рис. 9г). Особенностью разработанного блока является контроль напряжения в 2-х независимых точках, а выходной сигнал блока состоит из 2-х сигналов нормально замкнутого и нормально разомкнутого для повышения отказоустойчивости (как от залипания контактов, так и от обрыва). Допустимый диапазон напряжений входного сигнала составляет от 0 В до 2 кВ.

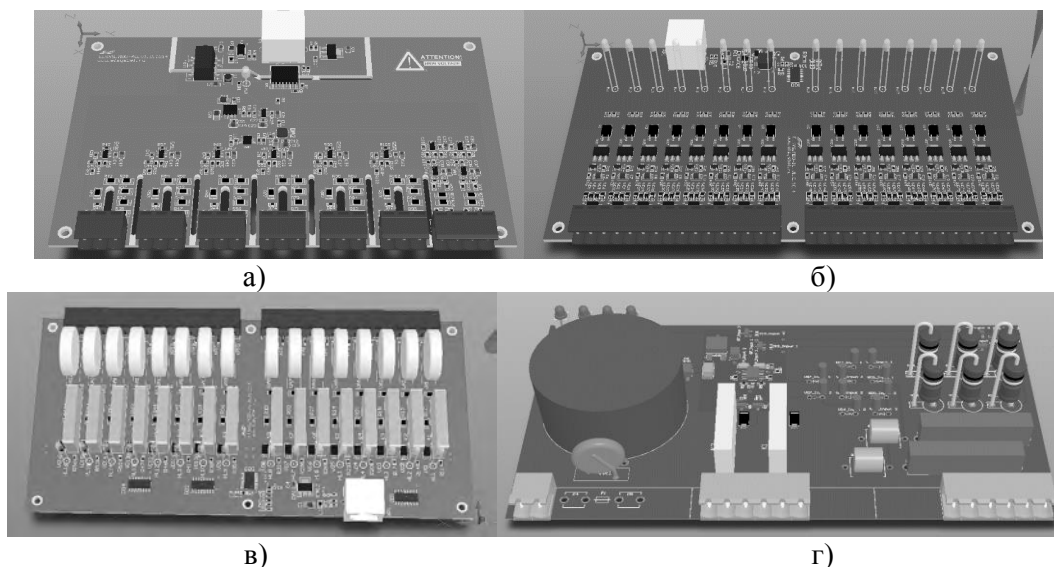


Рис. 9. Блоки: измерений (а), дискретных входов (б) и выходов (в), аппаратной защиты (г)
Fig. 9. Blocks: measurements (a), discrete inputs (b) and outputs (c), hardware protection (d)

Описаны этапы принятия решений по выбору необходимых функциональных возможностей оборудования, по составу оборудования и взаимодействию основных подсистем. Выбранные технические решения обеспечивают возможности исследования зависимостей между режимами обработки, параметрами режимов обработки и свойствами получаемых покрытий. В следующей части статьи будет рассмотрен процесс формирования требований к программному обеспечению, его состав и ключевые особенности, взаимодействие подсистем, а также основные функциональные возможности.

Список литературы

- Асадуллаев Р.Г., Лифиренко М.В., Ломакин В.В., Резниченко Т.А., Яценко В.М. 2017. Информационное обеспечение процесса формирования покрытий методом микродугового оксидирования. Информационные системы и технологии. с. 36-43.
- Герасимов В.А., Руднев П.С. 2008. Источник питания для микродугового оксидирования. Вологодские чтения. 69: 171-174.
- Голубков П.Е. 2015. Автоматизированный лабораторный стенд для получения и исследования МДО-покрытий. Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе.
- Голубков П. Е. 2022. Исследование влияния частоты измерительного сигнала на погрешность косвенного измерения свойств оксидных покрытий. Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль.
- Гринченков В.П. 2011. Технологический источник тока для процесса микроплазменного оксидирования. Известия Вузов Севера – Кавказского Региона. Технические Науки. с. 65-68.
- Людin В. Б. 2008. Универсальный технологический источник тока для микродугового оксидирования. Материалы Всероссийской научно-техн. конф. М.: ИЦ МАТИ, с. 141-143.
- Мамаев А.В. 2005. Компьютерная система измерения электрических параметров микроплазменных процессов в растворах. Защита металлов. с. 278–283.
- Павленко А.В. 2011. Источник питания для устройств микродугового оксидирования. Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки.
- Печерская Е.А. 2019. Интеллектуальная система управляемого синтеза оксидных покрытий. Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль.
- Печерская Е.А. 2019. Исследование влияния технологических параметров процесса микродугового оксидирования на свойства оксидных. Известия вузов. Электроника. 2019. №4.
- Пономарев И.С. 2013. Особенности влияния электрических режимов на процесс микродугового оксидирования. Современные проблемы науки и образования. Вестник ПНИПУ. Машиностроение. материаловедение. с. 99-103.
- Сумина И.В. 2005. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование). М.: ЭКОМЕТ.
- Фаткуллин, А.Р. 2016. Автоматизация технологического процесса плазменно-электролитического оксидирования на основе косвенного контроля толщины покрытия по электрическим характеристикам. Вестник УГАТУ. с. 38-44.

- Яценко В.М. 2015. Функциональные возможности электротехнического оборудования для микродугового оксидирования. Научное обозрение. с. 264-274.
- Яценко В.М., Иванов М. Б., Храмов Г. В. Патент РФ № 168062. Технологическая установка микродугового оксидирования.
- Яценко В.М., Подколзин В. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016660049. Программа контроллера управления ТИТ для МДО (ELSYS.MDO.MCU.1).

References

- Asadullaev R.G., Lifirenko M.V., Lomakin V.V., Reznichenko T.A., Yatsenko V.M. 2017. Information support of the coating formation process by microarc oxidation. Information systems and technologies. pp. 36-43. (in Russian)
- Gerasimov V.A., Rudnev P.S. 2008. Power supply for microarc oxidation. Vologda readings. 69: 171-174.
- Golubkov P.E. 2015. Automated laboratory stand for obtaining and testing of MDO coatings. Models, systems, networks in economics, technology, nature and society. (in Russian)
- Golubkov P.E. 2022. Investigation of the influence of the frequency of the measuring signal on the error of indirect measurement of the properties of oxide coatings. Measurement. Monitoring. Management. Control. (in Russian)
- Grinchenkov V.P. 2011. Technological current source for the microplasma oxidation process. News Of Universities Of The North Caucasus Region. Technical Sciences. pp. 65-68. (in Russian)
- Ludin V.B. 2008. Universal technological current source for microarc oxidation. Materials of the All-Russian Scientific and Technical conf. M.: IC MATI, pp. 141-143. (in Russian)
- Mamaev A.V. 2005. Computer system for measuring electrical parameters of microplasma processes in solutions. Protection of metals. pp. 278-283. (in Russian)
- Pavlenko A.V. 2011. Power supply for microarc oxidation devices. News of universities. The North Caucasus region. Series: Technical Sciences. (in Russian)
- Pecherskaya E.A. 2019. Intelligent system of controlled synthesis of oxide coatings. Measurement. Monitoring. Management. Control. (in Russian)
- Pecherskaya E.A. 2019. Investigation of the influence of technological parameters of the microarc oxidation process on the properties of oxide materials. Electronics. 2019. №4. (in Russian)
- Ponomarev I.S. 2013. Features of the influence of electrical modes on the process of microarc oxidation. Modern problems of science and education. Bulletin of PNRPU. Mechanical engineering. materials science. pp. 99-103. (in Russian)
- Suminova I.V. 2005. Microarc oxidation (theory, technology, equipment). M.: ECOMET. (in Russian)
- Fatkullin A.R. 2016. Automation of the technological process of plasma-electrolytic oxidation based on indirect control of the coating thickness by electrical characteristics. Bulletin of UGATU. pp. 38-44. (in Russian)
- Yatsenko V.M. 2015. Functional capabilities of electrical equipment for microarc oxidation. Scientific review. pp. 264-274. (in Russian)
- Yatsenko V.M., Ivanov M. B., Khramov G.V. Patent of the Russian Federation No. 168062. Technological installation of micro-arc oxidation. (in Russian)
- Yatsenko V.M., Podkolzin V.V. Certificate of state registration of the computer program No. 2016660049. TIT Control Controller program for MDO (ELSYS.MDO.MCU.1). (in Russian)

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

Яценко Владимир Михайлович, директор МИП ООО "ЭЛСИС БелГУ", г. Белгород, Россия

Ломакин Владимир Васильевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir M. Yatsenko, Director of SIE LLC "EL-SYS BelGU", Belgorod, Russia

Vladimir V. Lomakin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia



УДК 504.53.052

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-410-422

Применение нечеткого лингвистического подхода при выборе маркетинговых стратегий

¹ Логинова Ю.В., ² Логинов И.В.

¹ Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
Россия, 125167, Москва, пр-кт Ленинградский, д. 49/2

² Академия ФСО России,
Россия, 302020, Орловская область, г. Орел, ул. Приборостроительная, д. 35
E-mail: jul.cool@mail.ru, loginov_iv@bk.ru

Аннотация. В работе рассмотрена проблема выбора маркетинговых стратегий продвижения продуктов в условиях неопределенности рыночной ситуации. Цель исследования – повышение обоснованности выбора альтернативы маркетинговой стратегии из имеющегося множества. Достижение цели исследования обеспечивается за счет применения нечёткой лингвистической модели на основе колеблющихся нечетких наборов лингвистических оценок (Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets). Результатом исследования является схема принятия решения на выбор маркетинговой стратегии на основе нечеткой лингвистической модели. Предложенный механизм принятия маркетинговых решений в условиях неопределенности позволяет непосредственно учитывать нечеткие лингвистические оценки вариантов маркетинговых стратегий, полученные от экспертов при упорядочивании по уровню превосходства. В результате эксперту не требуются огрублять свои оценки, либо использовать искусственные численные шкалы в процессе экспертизы. Результаты применения предложенного подхода к задаче выбора маркетинговой стратегии продвижения онлайн образовательного ресурса показали применимость и результативность нового нечеткого лингвистического подхода.

Ключевые слова: маркетинг, маркетинговая стратегия, принятие решения, лингвистические выражения, нечеткие множества

Для цитирования: Логинова Ю.В., Логинов И.В. 2023. Применение нечеткого лингвистического подхода при анализе маркетинговых стратегий. Экономика информатика. 50(2): 410–422. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-410-422

Fuzzy linguistic Approach to Selection of Marketing Strategies

¹ Julia V. Loginova, ² Ilia V. Loginov

¹ Financial University under the Government of the Russian Federation,
Moscow, 49/2 Leningradskii, Moscow, 125167, Russia

² The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation,
35, Priborostroitelnaya, Orel, 302020, Russia
E-mail: jul.cool@mail.ru, loginov_iv@bk.ru

Abstract. The development of the market situation, increasing the interconnectedness of commodity markets and service markets through electronic commerce, the possibility of delivering goods to customers around the world significantly increases the level of competition in the development of enterprises. In this case, the role of the correct formation and selection of a marketing strategy that determines the positioning of the company in the market and the promotion of individual product positions increases significantly. The paper considers the problem of choosing marketing strategies to promote products in the uncertain market situation. The purpose of the study is to increase the validity of choosing an alternative marketing strategy from the available set. The achievement of the research goal is ensured through the use of a fuzzy linguistic model based on Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets. The result of the study is a decision-making scheme for choosing a marketing strategy based on a fuzzy linguistic model. The proposed mechanism for making marketing decisions in conditions of uncertainty allows us to directly take into account the fuzzy linguistic assessments of experts of marketing strategy options when ordering by the level of superiority. As a result, the expert does not need to roughen his estimates, or use artificial numerical scales in the examination process. The results of applying the proposed approach to the task of choosing a marketing strategy for promoting an online educational resource have shown the applicability and effectiveness of a new fuzzy linguistic approach.

Keywords: marketing, promotion strategy, decision-making, linguistic expressions, fuzzy sets

For citation: Loginova J.V., Loginov I.V. 2023. Fuzzy Linguistic Approach to Selection of Marketing Strategies. Economics. Information Technologies. 50(2): 410–422 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-410-422

Введение

Развитие рыночной ситуации, повышение взаимосвязанности товарных рынков и рынков услуг посредством электронной торговли, возможности доставки товара до покупателя по всему миру значительно повышают уровень конкурентной борьбы в развитии предприятий. Последнее время много факторов влияют на рынок неоднозначно: то под влиянием пандемии срочно приходилось переориентировать свою деятельность, то под влиянием политических факторов, санкций и ответных реакций меняются инструменты маркетинга, уходят крупные компании с рынка и т.д. Данные условия влияют на некоторые компании прямо, на другие опосредованно, в любом случае это порождает деятельность в условиях неопределенности. В этом случае значительно возрастает роль правильного формирования и выбора маркетинговой стратегии, определяющей позиционирование фирмы на рынке и продвижения отдельных товарных позиций. Проблема выбора маркетинговой стратегии относится к задаче многокритериального принятия решений в условиях неопределенности. Однако большинство методов принятия решений, например, на основе анализа иерархий, требует ограничения уровня неопределенности, либо его отражения в рассчитываемых для альтернатив оценках рисков. Развитие нечеткого лингвистического подхода позволяет перейти к непосредственно формируемым экспертами нечетким лингвистическим оценкам альтернатив маркетинговых стратегий, что повышает адекватность использования экспертной информации при принятии маркетинговых решений.

Обзор подходов к выбору маркетинговых стратегий в условиях неопределенности

Проблема выбора оптимальных и эффективных маркетинговых стратегий является актуальной как для развития предприятий в целом, так и при продвижении отдельных продуктов и товаров. Выделяется четыре класса моделей принятия решений при сравнении маркетинговых стратегий [Wierenga, Lans, 2017]: Accretion, Exploration, Sophistication, Excavation. Сама задача выбора отличается высоким уровнем неопределенности как из-за невозможности стопроцентной реализации всех частных операций стратегии; неопределенностью отклика целевой аудитории вследствие активного характера взаимоотношений «рекламодатель» – «целевая аудитория»; неизвестного характера действий конкурентов. Показано, что при принятии маркетинговых решений велика роль креативности [Althuizen et al, 2016], сформированы предложения по ее повышению: гибкость (flexibility), широкий охват / кругозор (fluency) и настойчивость (persistence).

Анализ моделей выбора маркетинговых стратегий в условиях неопределенности

Маркетинговая стратегия представляет собой обычно долгосрочные направления деятельности компании на рынке. Однако с учетом влияния большого количества факторов, которые могут кардинально изменить деятельность компании (от полного приостановления деятельности на неопределенное время или на определенной территории), поэтому важное значение приобретает формирование маркетинговых стратегий с учетом современных реалий и их адаптация в условиях неопределенности. Результаты анализа подходов к выбору маркетинговых стратегий позволяют выделить четыре основных класса:

– SWOT-анализ маркетинговой деятельности предприятия и формирование набора маркетинговых мероприятий: в [Лепехина, 2018] выполнен анализ трех альтернатив маркетинговой стратегии (развития рынка, проникновения на рынок, рационализации рынка) на основе SWOT-анализа с выделением сильных и слабых сторон, возможностей и угроз; в [Zahay, Griffin, 2010] рассмотрен матричный подход к принятию решений по выбору маркетинговых стратегий на основе показателей сегментации (Broad vs focused segmentation); эффективности потребительского рынка (Customer-based performance), дифференциации (Differentiation), стоимости (Low cost) и роста фирмы (Business growth); в [Комарова,

Мишурова, 2020] рассмотрен подход к совершенствованию маркетинговой деятельности сервисного предприятия (отеля) для обеспечения устойчивого развития на основе SWOT-анализа; в [Изакова, Елькина, 2021] для разработки коммуникационной стратегии маркетинга предложено использовать матричный метод Росситера – Перси;

– многокритериальное принятие решений – наибольшее распространение получил метод анализа иерархий и его производные: в [Смолянинова и др., 2016] применен метод анализа иерархий при выборе оптимальной маркетинговой стратегии, в рамках которого выделено три уровня декомпозиции задачи принятия решения (цель, критерии, альтернативы) и сформировано четыре комбинации сценариев действий потребителя и конкурентов; в [Dawalibi et al, 2020] развитие метода анализа иерархий применено для выбора стратегии маркетингового продвижения;

– принятие решение путем свертки частных показателей в единый критерий [Loginov et al, 2021]: в [Лазарева, 2019] рассмотрен подход на основе теории статистических игр, позволяющий на основе нерандомизированного функционала риска выбрать стратегию с минимальной величиной риска; в [Анцев и др., 2021] введен интегральный показатель удовлетворения потребительской ценностью, предложен метод его расчета на основе частных показателей рыночного ориентирования; в [Барышникова, 2022] представлен усовершенствованный подход к выбору рациональной маркетинговой интернет-стратегии в условиях неопределенности на основе нахождения евклидова расстояния до наилучшей стратегии (показатели лояльности целевой аудитории и емкости интернет-площадки);

– оценка стратегий осуществляется через эффективность и связана с финансовым показателем. Выделяются стратегии маркетинга для повышения чистой прибыли от их реализации: стратегии увеличения рыночного спроса, стратегии для увеличения доли рынка, стратегии увеличения выручки с одного потребителя, стратегии уменьшения переменных затрат, стратегии повышения эффективности маркетинга. Рассматриваются различные показатели оценки эффективности маркетинга, к которым относятся три укрупненные группы: показатели рынка, показатели конкурентоспособности, показатели клиента. В качестве основных типов стратегий маркетинга выделяют стратегию «цена-количество» и стратегию предпочтения [Нагапетьянц, Тарасова, 2011].

Дополнительно в [Tarka, Łobiński, 2014] показана необходимость использования проактивного и предсказательного подходов к принятию решений при выборе маркетинговых стратегий. Показана применимость методов: анализа деревьев решений, кластеризации, логистических регрессий, нейросетей и моделей системной динамики.

Множества частных критериев при выборе маркетинговых стратегий не очень велики и включают от трех до шести элементов: в [Смолянинова и др., 2016] предложены следующие критерии выбора стратегии: действенность, адаптивность, прибыльность, минимизация ответного удара конкурентов, уровень рисков, реализуемость; в [Mohaghar et al, 2012] рассмотрено три стратегии для текстильного предприятия по шести критериям: managerial capabilities (C1), customer linking capabilities (C2), market innovation capabilities (C3), human resource assets (C4), reputational assets (C5), Capabilities in product distribution (C6).

Для учета неопределенности при оценке маркетинговых стратегий в ряде случаев используется риск-ориентированный подход. Например, в [Анцев и др., 2021] для учета неопределенности рыночной ситуации для каждой стратегии рассчитывается поправочный коэффициент риска на основе критерия Сэвиджа). При создании маркетинговых стратегий организации в условиях неполной информации или ее отсутствия предлагают использовать такие методы оценки риска, как методы стохастического программирования, методы «дерева решений», методы статистических решений, метод Монте Карло [Киселева, Исканджан, 2017]. Применяется подход нечетких множеств: в [Zhang, Guan, 2017] рассмотрен подход на основе нечеткой оптимизации для выбора маркетинговых стратегий новых продуктов косметической индустрии на основе схожести, построена нечеткая целочисленная линейная модель; в [Mohaghar et al, 2012] предложен подход к выбору маркетинговых стратегий на основе нечеткого метода анализа иерархий. Оценка маркетинговой стратегии по готовности организации к ее реализации проводится на основе экспертных оценок и уровнях проявления каждого признака в деятельности организации. Общей оценкой является средневзвешенный балл [Антонов, Ювко, 2020].

Рассматривая подходы к оценке маркетинговых стратегий, можно сделать вывод, что применяются различные методы и проводятся они на разных этапах. В целом, оценка

маркетинговой стратегии трудоемкий и творческий процесс, который не всегда можно строго формализовать по заданным критериям. Используя только, например, балльную оценку важная лингвистическая информация, которая была в момент анализа использована зачастую не обрабатывается, хотя и является важной частью оценки. Поэтому важно использовать методы, которые позволят полноценно обрабатывать лингвистическую информацию при оценке маркетинговых стратегий.

Модели принятия решений на основе нечеткой лингвистической информации

Развитие методов принятия решений в условиях неопределенности происходит в направлении перехода к непосредственному использованию лингвистической информации – подход «лингвистических вычислений» или «вычислений со словами» (computing with words). Поскольку естественный язык удобен для оценивания сравниваемых объектов экспертами, то и различные способы лингвистических вычислений нашли свое применение в прикладных задачах: в оценивании кредитных историй [Zhang, Cao, 2021]; выбора поставщиков электроэнергии [Raghunathan et al, 2016]; оценивания и ранжирования учителей и учебных программ [Wang et al, 2022]; представления знаний автономных интеллектуальных систем [Мелехин, Хачумов, 2020], группового принятия решений [Демидовский, Бабкин, 2019]. Применительно к маркетингу это математическое направление не нашло широко распространения, однако можно отметить работу [Gonzalez et al, 2021], в которой построена нечеткая лингвистическая модель для оценки исходных критериев маркетинговых программ.

Базовая лингвистическая модель базируется на основе структуры «2-tuple» или другая аббревиатура – 2-TLM [Herrera, Martinez, 2000]:

$$L = (S, \alpha), \quad (1)$$

где $S = \{s_0, \dots, s_i, \dots, s_g\}$ – лингвистический концепт, описывающий лингвистическую оценку объекта по заданному критерию; α – численное значение, которое показывает значение функции членства – расстояние до ближайшего концепта s_i , если s_i неточно ему соответствует. Преимуществом базовой модели является простота лингвистических вычислений, точность и понятность при решении проблемы принятия решений [Martinez, Herrera, 2012]. Для агрегации лингвистической информации может использоваться оператор HFLWPA.

Однако преодоление ограничений исходной модели привело к разработке целого спектра лингвистических моделей более точно описывающих различного рода неопределённости лингвистических оценок [Huchang, Xu, 2017; Meng, Li, 2022]:

- лингвистическая символическая вычислительная модель, построенная на порядковых шкалах;
- максиминные операторы, лингвистическая символическая вычислительная модель, построенная на гладких комбинациях;
- Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets (HFLTTS) [Rodriguez et al, 2012; Rodriguez et al, 2016] – колеблющиеся наборы нечетких лингвистических терминов (оценок) – позволяет учесть нерешительность (неточность) экспертных оценок относительно формализации свойства объекта;

Учет неопределенности лингвистических оценок весьма характерен при оценивании маркетинговых программ. С учетом вышеизложенного, в работе предлагается использование колеблющаяся нечеткой лингвистической модели для сравнения маркетинговых программ с целью более полного учета объектов неопределенности маркетинговых ситуаций выбора.

Колеблющиеся нечеткие наборы лингвистических оценок при принятии решений

Лингвистическая переменная задается кортежем [Rodriguez et al, 2012]:

$$L = (H, T(H), U, G, M), \quad (1)$$

где H – имя лингвистической переменной; $T(H) = S$ – множество лингвистических значений переменной – терм множество; U – область определения (универсум переменной); G – синтаксическое правило генерации значений из терм-множества $T(H)$, осмысленных в рассматриваемом аспекте; M – семантическое правило ассоциации значения из области определения U с каждым терм-множеством $T(H)$.

Пример лингвистической переменной (рис. 1) – описывает пригодность альтернативы для решения задачи модернизации многофункциональной системы:

$$L_1 = (H_1, T_1(H), U_1, G_1, M_1), \quad (2)$$

где H_1 = «доля охвата целевой аудитории»; $T_1(H) = \{\text{«незначительная»}, \text{«очень мала»}, \text{«мала»}, \text{«ниже среднего»}, \text{«средняя»}, \text{«выше среднего»}, \text{«высокая»}, \text{«очень высокая»}, \text{«полная»}\}$; $U_1 = [0;1]$ – значения пригодности альтернативы; G_1 – процедура формирования новых терминов с использованием правил «И», «НЕ»; M_1 – отображение $T_1(H)$ на U_1 (рис. 1).

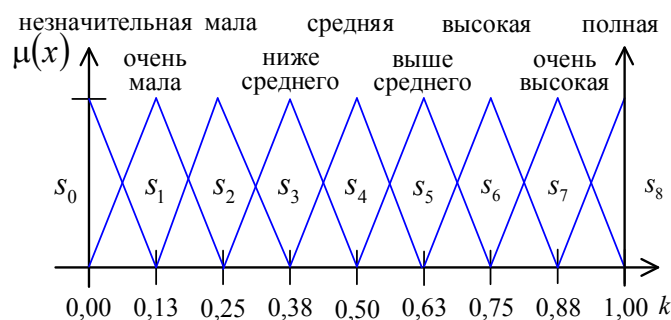


Рис. 1. Пример отображения U_1 на $T_1(H)$ для переменной H_1

Fig. 1. Example U_1 on $T_1(H)$ for linguistic variable H_1

Определение: Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets (HFLTS) H^s – упорядоченное конечное подмножество последовательных лингвистических концептов s_i из множества лингвистических концептов $S = \{s_0, \dots, s_i, \dots, s_g\}$ [Rodriguez et al, 2012].

Основные операции с HFLTS на множестве лингвистических концептов $S = \{s_0, \dots, s_i, \dots, s_g\}$:

Пустой HFLTS: $H^s = \{ \}$.

Полный HFLTS: $H^s = S$ – равен универсуму HFLTS.

Верхняя граница HFLTS:

$$H^{s+} = \max(s_i).$$

Нижняя граница HFLTS:

$$H^{s-} = \min(s_i).$$

Дополнение HFLTS:

$$H^{s,c} = S - H^s.$$

Объединение HFLTS H_1^s и H_2^s :

$$H_1^s \cup H_2^s = H_3^s.$$

Пересечение HFLTS H_1^s и H_2^s :

$$H_1^s \cap H_2^s = H_3^s$$

Интервал HFLTS $env(H^S)$ – лингвистический интервал от минимального до максимального значения лингвистической переменной:

$$env(H^S) = [H^{S-}, H^{S+}].$$

Операции сравнения HFLTS:

$$H_1^S > H_2^S \text{ если } env(H_1^S) > env(H_2^S);$$

$$H_1^S = H_2^S \text{ если } env(H_1^S) = env(H_2^S).$$

Представление лингвистической информации об оцениваемых маркетинговых стратегиях в форме колеблющихся нечетких наборов лингвистических оценок

HFLTS предназначены для представления нечеткой лингвистической информации в случае, когда эксперт не может сделать выбор одного термина (оценки). Соответственно, в этом случае эксперт формирует нечеткое лингвистическое выражение вида:

$LE = \text{«доля охвата целевой аудитории» НЕ ХУЖЕ «высокой»}$.

Такое лексическое выражение соответствует HFLTS вида (рис. 2):

$$H^S = \{\text{«высокая»}, \text{«очень высокая»}, \text{«полная»}\}.$$

Использование указанного вида выражений за счет модификаторов вида «НЕ ХУЖЕ» позволяет дополнительно использовать неопределенность экспертной оценки при принятии решений.

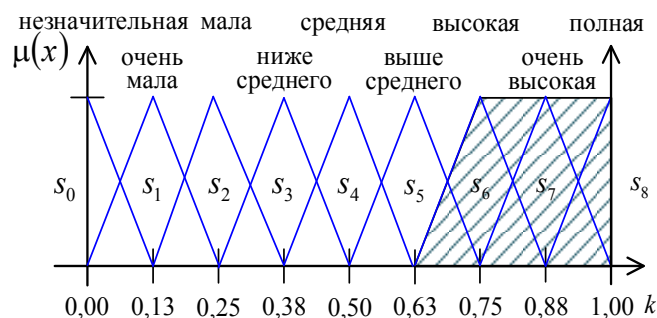


Рис. 2. Пример отображения лингвистического выражения на $T_1(H)$

Fig. 2. Example of the linguistic expression on $T_1(H)$

Для генерации нечетких лингвистических выражений LE из множества лингвистических концептов $S = \{s_0, \dots, s_i, \dots, s_g\}$, однозначно отображаемых в HFLTS H^S , осмысленных в контексте физического смысла сравнения маркетинговых концепций, применяются контекстно свободные грамматики G .

Грамматика образующая G лингвистические термины, однозначно соотносимые с HFLTS, определяется следующим образом:

$$G = (N, \Sigma, P, S), \quad (3)$$

где N и Σ – конечные алфавиты грамматики, $N \cap \Sigma = \emptyset$; P – правила вывода, $P \subset (N \cup \Sigma)^+ \times (N \cup \Sigma)^* \neq \emptyset$, P – конечно; S – начальный символ, $S \in N$.

Вариант грамматики G для генерации нечетких лингвистических выражения для выбора маркетинговых стратегий:

N – основной алфавит грамматики G : $N = \{\text{«первичный концепт»}, \text{«составной концепт»}, \text{«унарное отношение»}, \text{«бинарное отношение»}, \text{«логическое выражение»}\}$.

Σ – вспомогательный алфавит грамматики G : $\Sigma = \{\text{МЕНЕЕ ЧЕМ}, \text{БОЛЕЕ ЧЕМ}, \text{НЕ МЕНЕЕ ЧЕМ}, \text{НЕ БОЛЕЕ ЧЕМ}, \text{ХОТЯ БЫ}, \text{НЕ ХУЖЕ}, \text{ОКОЛО}, \text{МЕЖДУ}, \text{И}, \text{НЕ}, s_0, s_1, \dots, s_g\}$.

Правила вывода P :

$P = \{ S \rightarrow \langle \text{первичный концепт} \rangle \mid \langle \text{составной концепт} \rangle;$
 $\langle \text{составной концепт} \rangle \rightarrow \langle \text{унарное отношение} \rangle \langle \text{первичный концепт} \rangle \mid$
 $\langle \text{бинарное отношение} \rangle \langle \text{первичный концепт} \rangle \langle \text{логическое выражение} \rangle \langle \text{первичный}$
 $\text{концепт} \rangle \mid$
 $\langle \text{логическое выражение} \rangle \langle \text{первичный концепт} \rangle;$
 $\langle \text{первичный концепт} \rangle \rightarrow s_0 \mid s_1 \mid \dots \mid s_g;$
 $\langle \text{унарное отношение} \rangle \rightarrow \text{МЕНЕЕ ЧЕМ} \mid \text{БОЛЕЕ ЧЕМ} \mid \text{НЕ МЕНЕЕ ЧЕМ} \mid \text{НЕ БО-}$
 $\text{ЛЕЕ ЧЕМ} \mid \text{ХОТЯ БЫ} \mid \text{НЕ ХУЖЕ} \mid \text{ОКОЛО};$
 $\langle \text{бинарное отношение} \rangle \rightarrow \text{МЕЖДУ};$
 $\langle \text{логическое выражение} \rangle \rightarrow \text{И} \mid \text{НЕ} \}$
 Пример лингвистических выражений LE на основе G :
 $LE_1 = \text{«конверсия» НЕ МЕНЕЕ ЧЕМ «средняя»};$
 $LE_2 = \text{«трудозатраты» НЕ «очень высокие»};$
 $LE_3 = \text{«привлеченность внешнего персонала» НЕ БОЛЕЕ ЧЕМ «выше среднего»};$
 $LE_4 = \text{«новизна продукта» ОКОЛО «средняя»};$
 $LE_5 = \text{«охват аудитории» МЕЖДУ «средняя» И «очень высокая»}.$
 Преобразование LE в HFLTS H^S выполняется с использованием функции:
 $EG_H : LE \rightarrow H^S.$
 Пример: $EG_H : TLE_1 \rightarrow H_1^S :$
 $H_1^S = \{ \text{«средняя», «выше средней», «высокая», «очень высокая», «полная»} \}.$

(4)

Многокритериальное принятии решений при выборе маркетинговых стратегий

Выбор маркетинговой стратегии относится к типовым задачам многокритериального принятия решений: маркетологом построено несколько альтернативных вариантов проведения маркетинговых кампаний, отличающихся: целевым результатом по продвижению продукта; охватом и откликом целевой аудитории; ресурсами и временем проведения.

Задача многокритериального принятия решений

Задача многокритериального принятия решения при выборе наилучшей маркетинговой стратегии имеет следующую постановку – требуется на основе нечетких лингвистических оценок $LE = \{(x_i, c_j)\}$ конечного набора альтернатив маркетинговых стратегий $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ по конечному набору критериев $C = \{c_1, \dots, c_m\}$ найти ранжирование альтернатив $R = \{r_{ij}\}$. При этом вклад лингвистические выражения выполнены на базе заданного множество лингвистических терминов $S = \{s_0, \dots, s_i, \dots, s_g\}$ путем использования контекстно-свободной грамматики G .

Модель многокритериального принятия решений по выбору маркетинговой стратегии

Модель принятия решения включает четыре стадии (рис. 1).

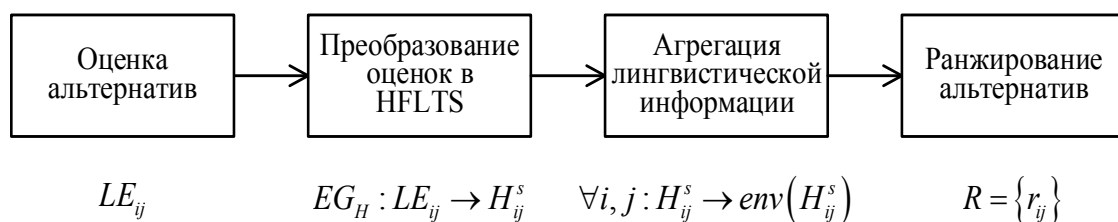


Рис. 3. Модель принятия решения на основе нечеткой лингвистической модели
Fig. 3. Decision-making model based on fuzzy linguistic model

1) Генерация экспертом нечетких лингвистических оценок оцениваемых альтернатив x_i в форме нечетких лингвистических выражений LE_{ij} по заданным критериям.

2) Трансформация лингвистического выражения в HFLTS:

$$EG_H : LE_{ij} \rightarrow H_{ij}^s.$$

3) Агрегация нечеткой лингвистической информации об оцениваемых маркетинговых стратегиях и получения для каждого HFLTS лингвистического интервала

$$\forall i, j : H_{ij}^s \rightarrow env(H_{ij}^s).$$

4) Построение отношений предпочтений между альтернативами маркетинговых стратегий $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ на основе лингвистических интервалов.

В работе для построения отношений предпочтения использован способ на основе не-доминантной степени NDD [Rodriguez et al, 2012] – степень с которой альтернатива не доминируется остальными :

$$R = \{r_{ij}\} - \text{отношения предпочтения над множеством альтернатив } X = \{x_1, \dots, x_n\};$$

$$NDD_i = \min \{1 - r_{ji}^s, j \neq i\} - \text{степень NDD};$$

$r_{ji}^s = \max \{r_{ji} - r_{ij}, 0\}$ – показывает степень для каждой альтернативы x_i с которой она доминирует над альтернативой x_j .

Пример принятия решения на основе нечетких лингвистических оценок по выбору маркетинговой стратегии компании по предоставлению консалтинговых услуг

Основное направление деятельности исследуемой компании – поддержка социального предпринимательства в регионе. Видами деятельности является предоставление консалтинговых услуг в сфере социального предпринимательства, помощь в оформлении пакета документов по включению в реестр социальных предпринимателей, также в портфеле компании представлены и другие виды консалтинговых услуг (разработка стратегий и пакетов документов для различных субъектов бизнеса и физических лиц и др.). Целью компании является иметь устойчивую доходную постоянную часть от предоставления консалтинговых услуг. В связи с этим встает необходимость выбора наиболее оптимальной маркетинговой стратегии. С одной стороны, есть определенная ниша, с которой удобно работать, с другой стороны, встает вопрос принесет ли необходимые результаты для компании сосредоточение только на узком сегменте рынка. Множество альтернатив маркетинговых стратегий сформировано в соответствии с [Журавлев, 2019].

Альтернатива 1: Применение одного комплекса маркетинга для всего рынка (Недифференцированный маркетинг).

Альтернатива 2: Применение разных комплексов маркетинга для разных рынков и сегментов (Дифференцированный маркетинг).

Альтернатива 3: Предоставление разных услуг для одного сегмента (специализация на сегменте).

Альтернатива 4: Предоставление одной услуги для одного сегмента (Концентрированный маркетинг).

Альтернатива 5: Захват всего рынка данной услуги (Полный охват рынка).

В качестве критериев оценивания маркетинговых стратегий выступали следующие:

критерий 1: устойчивость рынка;

критерий 2: конкурентоспособность на рынке;

критерий 3: платежеспособность целевой аудитории (объемы продаж).

В результате оценивания альтернатив эксперт (маркетолог организации) сформировал следующие оценки в форме нечетких лингвистических выражений (таблица 1):

$T_1(H) = \{\text{«незначительная»} = \text{«НЗ»}, \text{«очень низкая»} = \text{«ОН»}, \text{«низкая»} = \text{«Н»}, \text{«ниже среднего»} = \text{«НС»}, \text{«средняя»} = \text{«С»}, \text{«выше среднего»} = \text{«ВС»}, \text{«высокая»} = \text{«В»}, \text{«очень высокая»} = \text{«ОВ»}, \text{«полная»} = \text{«П»}\};$

$\Sigma = \{\text{МЕНЕЕ ЧЕМ}, \text{БОЛЕЕ ЧЕМ}, \text{НЕ МЕНЕЕ ЧЕМ}, \text{НЕ БОЛЕЕ ЧЕМ}, \text{ХОТЯ БЫ}, \text{НЕ ХУЖЕ}, \text{ОКОЛО}, \text{МЕЖДУ}, \text{И}, \text{НЕ}, s_0, s_1, \dots, s_g\}.$

Таблица 1
Table 1

Экспертные оценки альтернатив маркетинговых стратегий
Expert evaluation of marketing strategies alternatives

		Критерии		
	LE_{ij}	c_1	c_2	c_3
Альтернативы	x_1	С	МЕЖДУ Н и С	МЕЖДУ С и В
	x_2	МЕНЕЕ ЧЕМ С	ОКОЛО ОВ	МЕЖДУ ВС и ОВ
	x_3	В	МЕЖДУ Н и С	Н
	x_4	ОКОЛО ОН	МЕЖДУ С и В	Н
	x_5	ОКОЛО ОН	МЕЖДУ ОН и В	МЕЖДУ Н и С

Результаты экспертной оценки преобразованы в HFLTS (таблица 2) и далее рассчитаны предпочтения между альтернативами маркетинговых стратегий (таблицы 3 и 4).

Таблица 2
Table 2

Преобразование лингвистических выражений в HFLTS
Translation linguistic expression to the HFLTS

		Критерии		
	H_{ij}^s	c_1	c_2	c_3
Альтернативы	x_1	{C}	{H,HC,C}	{C,BC,B}
	x_2	{H3, OH, H, HC}	{B,OB,П}	{BC,OB}
	x_3	{B}	{H,HC,C}	{H}
	x_4	{H3,OH,H}	{C,BC,B}	{H}
	x_5	{H3,OH,H}	{OH,H,HC,C,BC,B}	{H,HC,C}

Таблица 3
Table 3

Расчеты лингвистического интервала для экспертных оценок
Linguistic interval calculation for expert evaluation

	Верхняя граница HFLTS H_{ij}^{S+}				Нижняя граница HFLT H_{ij}^{S-}				Лингвистический интервал $H'(x_i)$
	Критерии			$\min(H_{ij}^{S+})$	Критерии			$\max(H_{ij}^{S-})$	
	c_1	c_2	c_3		c_1	c_2	c_3		
x_1	{C}	{C}	{B}	{C}	{C}	{H}	{C}	{C}	[C,C]
x_2	{HC}	{П}	{OB}	{HC}	{H3}	{B}	{BC}	{BC}	[HC;B]
x_3	{B}	{C}	{H}	{H}	{B}	{H}	{H}	{B}	[H;B]
x_4	{H}	{B}	{H}	{H}	{H3}	{C}	{H}	{C}	[H;C]
x_5	{H}	{B}	{C}	{H}	{H3}	{OH}	{H}	{H}	[H;H]

Таблица 4
Table 4Расчет недоминантных отношений предпочтения между альтернативами
Calculation of the nondominated preference relations between alternatives

	r_{ij}	Альтернативы					NDD_i
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	
Альтернативы	x_1	–	0,33	0,50	1,00	1,00	0,33
	x_2	0,67	–	0,57	0,80	1,00	0,57
	x_3	0,50	0,43	–	0,67	1,00	0,50
	x_4	0,00	0,20	0,33	–	1,00	0,00
	x_5	0,00	0,00	0,00	0,00	–	0,00

По результатам расчетов в качестве наиболее предпочтительной маркетинговой стратегией получена стратегия дифференцированного маркетинга – x_2 . Данный вид стратегии предполагает применение разных комплексов маркетинга для разных рынков и сегментов. Для компании это означает предоставление расширенного спектра консалтинговых услуг не только для основного сегмента – социальных предпринимателей, но и для других сегментов, что в принципе в условиях неопределенности является обоснованной стратегией на рынке в текущих условиях.

Заключение

В работе рассмотрена проблема выбора маркетинговых стратегий в условиях развития конкуренции и неопределенности рыночной ситуации. Проведенный анализ позволил выделить четыре основных подхода к принятию решений (SWOT-анализ, многокритериальные решения и линейная оптимизация, оценка через эффективность), однако они ограничивают неопределенность исходных экспертных оценок. Для снижения этого ограничения в работе предложен подход к принятию решений на основе нечеткой лингвистической модели с использованием Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets. На основе лингвистической вычислительной модели сформулирована задача принятия решений на выбор маркетинговой стратегии, предложена схема принятия решений и представлен расчетный пример по выбору маркетинговой стратегии продвижения образовательного онлайн-сервиса. Результаты исследования показали возможность использования нечеткой лингвистической вычислительной модели при принятии решении в маркетинге в условиях неопределенности.

Список литературы

- Антонов В.Н., Ювко А.А. 2020. Механизм реализации стратегии развития спортивного маркетинга. Вести автомобильно-дорожного института. 2: 131-138.
- Анцев В.Ю., Васин Л.А., Чачина Е. Б., Коровкина Н. И. 2021. Модель рыночной ориентации промышленного предприятия на основе выбора маркетинговой стратегии. Экономический анализ: теория и практика. Т. 20, № 8(515): 1462-1477. – DOI 10.24891/ea.20.8.1462.
- Барышникова Л.П. 2022. Выбор рациональной маркетинговой интернет-стратегии в условиях неопределенности. Сборник научных работ серии "Экономика". № 25: 57-65. DOI 10.5281/zenodo.6466982.
- Демидовский А.В., Бабкин Э.А. 2019. Разработка распределенной лингвистической системы поддержки принятия решений. Бизнес-информатика. 13(1): 18-32. DOI 10.17323/1998-0663.2019.1.18.32.
- Журавлев В.А. 2019. Математические методы и модели принятия маркетинговых решений: учеб. метод. пособие. Минск: БГУИР, 91 с.
- Изакова Н.Б., Елькина К.С. 2021. Матричный метод Росситера - Перси при разработке коммуникационной стратегии производителя хлебобулочных изделий. e-FORUM. Т. 5, № 2(15).
- Киселева И.А., Исканджан С.О. 2017. Методы оценки эффективности и степени риска маркетинговых стратегий. ИТ-портал, № 1 (13).



- Комарова С.Н., Мишурова А.Ю. 2020. Выбор маркетинговой стратегии сервисного предприятия для обеспечения устойчивого развития. *Естественно-гуманитарные исследования*. 28(2): 119-128. – DOI 10.24411/2309-4788-2020-10087.
- Лазарева Е.Н. 2019. Выбор маркетинговой стратегии развития компании на основе теории статистических игр. *Juvenis Scientia*. № 9-10: 14-16. – DOI 10.32415/jscentia.2019.09-10.03.
- Лепехина Ю.А. 2018. Выбор стратегии стивидорной компании на основе маркетингового анализа. *Экономика устойчивого развития*. 2(34): 200-213.
- Мелехин В.Б., Хачумов М.В. 2020. Нечеткие семантические сети как адаптивная модель представления знаний автономных интеллектуальных систем. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 3: 61-72. DOI 10.14357/20718594200306.
- Нагапетьянц Н.А., Тарасова Е.Е. 2011. Стратегии маркетинга и оценка эффективности их реализации. *Вестник белгородского университета кооперации, экономики и права*. 1: 76-83.
- Смольянинова И.В., Ахмедов А.Э., Шаталов М.А. 2016. Методический подход к оценке и выбору эффективных маркетинговых стратегий предприятия. *Синергия*. 4: 71-83.
- Althuizen N., Wierenga B., Chen B. 2016. Managerial Decision-Making in Marketing: Matching the Demand and Supply Side of Creativity. *Journal of Marketing Behavior*. 2. 129-176. 10.1561/107.000000033.
- Dawalibi A., Al-Dali I., Alkhayyal B. 2020. Best Marketing Strategy Selection Using Fractional Factorial Design with Analytic Hierarchy Process. *MethodsX*. 7. 100927. 10.1016/j.mex.2020.100927.
- Gonzalez M. R., Carrasco R., Sanchez-Figueroa C., Gavilan D. 2021. An RFM Model Customizable to Product Catalogues and Marketing Criteria Using Fuzzy Linguistic Models: Case Study of a Retail Business. *Mathematics*. 9. 1836. 10.3390/math9161836.
- Herrera F., Martinez L. 2000. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6): 746–752.
- Huchang L., Xu Z. 2017. Hesitant Fuzzy Set and Its Extensions. *Hesitant Fuzzy Decision Making Methodologies and Applications - Uncertainty and Operations Research*. pp. 1-36 10.1007/978-981-10-3265-3_1.
- Loginov I.V., Eremenko V.T., Eremenko S.V. [et al.] 2021. The decision making method for reconfiguration of adaptive infocommunication systems. *Advances in Dynamical Systems and Applications*. 16(1): 335-353.
- Martinez L., Herrera F. 2012. An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges, *Information Sciences*, 207(1): 1-18.
- Meng L., Li L. 2022. Time-sequential hesitant fuzzy set and its application to multi-attribute decision making. *Complex & Intelligent Systems*. 8. 10.1007/s40747-022-00690-0.
- Mohaghar A., Fathi M.R., Zarchi M., Omidian A. 2012. A combined VIKOR–fuzzy AHP approach to marketing strategy selection. *Business Management and Strategy*. 3. 10.5296/bms.v3i1.957.
- Raghunathan K., Ravichandran K.S., Kar S., Gupta P., Mehlawat M. 2021. Double-hierarchy hesitant fuzzy linguistic term set-based decision framework for multi-attribute group decision-making. *Soft Computing*. 25. 1-21. 10.1007/s00500-020-05328-2.
- Rodriguez R.M., Martinez Luis, Herrera Francisco. 2012. Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets for Decision Making. *IEEE transactions on fuzzy systems*. february 2012. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 20(1): 109-119.
- Rodriguez R.M., Labella A., Martinez L. 2016. An overview on fuzzy modelling of complex linguistic preferences in decision making, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(1): 81-94.
- Tarka P., Łobiński M. 2014. Decision Making in Reference to Model of Marketing Predictive Analytics – Theory and Practice. *Management and Business Administration*. Central Europe. 22. 60-69. 10.7206/mba.ce.2084-3356.90.
- Wang L., Li H., Zhang J., Yang J. 2022. Grey Relational Analysis Method for Probabilistic Double Hierarchy Linguistic Multiple Attribute Group Decision Making and Its Application to College Tennis Classroom Teaching Effect Evaluation. *Mathematical Problems in Engineering*. 1-17. 10.1155/2022/7419496.
- Wierenga B., Lans R. 2017. Marketing Decision Models: Progress and Perspectives. 10.1007/978-3-319-56941-3_1.
- Zahay D., Griffin A. 2010. Marketing strategy selection, marketing metrics, and firm performance. *Journal of Business & Industrial Marketing*. 25. 84-93. 10.1108/08858621011017714.
- Zhang M., Cao Ch. 2021. A 2-order Additive Fuzzy Measure Identification Method Based on Hesitant Fuzzy Linguistic Interaction Degree and Its Application in Credit Assessment. 10.21203/rs.3.rs-221239/v1.
- Zhang Y., Guan X. 2017. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. 32. 2679-2695. 10.3233/JIFS-16723.

References

- Antonov V.N., Juvko A.A. 2020. Mechanism realizacii strategii razvitija sportivnogo marketinga [The mechanism of implementation of the strategy for the development of sports marketing]. *Vesti avtomobil'no-dorozhnogo instituta*. 2: 131-138.
- Ancev V.Ju., Vasin L.A., Chachina E.B., Korovkina N.I. 2021. Model' rynochnoj orientacii promyshlennogo predprijatija na osnove vybora marketingovoj strategii [Model of market orientation of an industrial enterprise based on the choice of marketing strategy]. *Jekonomicheskij analiz: teorija i praktika*. T. 20, № 8(515): 1462-1477. DOI 10.24891/ea.20.8.1462.
- Baryshnikova L.P. 2022. Vybora racional'noj marketingovoj internet-strategii v uslovijah neopredelennosti [choosing a rational Internet marketing strategy in conditions of uncertainty]. *Sbornik nauchnyh rabot serii "Jekonomika"*. 25: 57-65. DOI 10.5281/zenodo.6466982.
- Demidovskij A.V., Babkin Je.A. 2019. Razrabotka raspredelennoj lingvisticheskoj sistemy podderzhki prinjatija reshenij [Development of a distributed linguistic decision support system]. *Biznes-informatika*. –13(1): 18-32. DOI 10.17323/1998-0663.2019.1.18.32.
- Zhuravlev V.A. 2019. Matematicheskie metody i modeli prinjatija marketingovyh reshenij [Mathematical methods and models of marketing decision-making]: ucheb. metod. posobie. Minsk: BGUIR, 91 s.
- Izakova N.B., El'kina K.S. 2021. Matrichnyj metod Rossitera - Persi pri razrabotke kommunikacionnoj strategii proizvoditelja hlebobulochnyh izdelij [The Rossiter - Percy matrix method in the development of a communication strategy for a bakery manufacturer]. *e-FORUM*. T. 5, № 2(15). (in Russian)
- Kiseleva I.A., Iskadhjan S.O. 2017. Metody ocenki jeffektivnosti i stepeni riska marketingovyh strategij [Methods of evaluating the effectiveness and degree of risk of marketing strategies]. *IT-portal*, 1(13).
- Komarova S.N., Mishurova A.Ju. 2020. Vybora marketingovoj strategii servisnogo predprijatija dlja obespechenija ustojchivogo razvitija [Choosing a marketing strategy of a service enterprise to ensure sustainable development]. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya*. 28(2): 119-128. DOI 10.24411/2309-4788-2020-10087.
- Lazareva E.N. 2019. Vybora marketingovoj strategii razvitija kompanii na osnove teorii statisticheskikh igr [Choosing a marketing strategy for company development based on the theory of statistical games]. *Juvenis Scientia*. № 9-10: 14-16. – DOI 10.32415/jscientia.2019.09-10.03.
- Lepehina Ju.A. 2018. Vybora strategii stividomoj kompanii na osnove marketingovogo analiza [Choosing a stevedoring company strategy based on marketing analysis]. *Jekonomika ustojchivogo razvitija*. 2(34): 200-213.
- Melehin V.B., Hachumov M.V. 2020. Nechetkie semanticheskie seti kak adaptivnaja model' predstavlenija znanij avtonomnyh intellektual'nyh sistem [Fuzzy semantic networks as an adaptive model of knowledge representation of autonomous intelligent systems]. *Iskusstvennyj intellekt i prinjatie reshenij*. 3: 61-72. – DOI 10.14357/20718594200306.
- Nagapet'janc N.A., Tarasova E.E. 2011. Strategii marketinga i ocenka jeffektivnosti ih realizacii [Marketing strategies and evaluation of the effectiveness of their implementation] // *Vestnik belgorodskogo universiteta kooperacii, jekonomiki i prava*. 1:76-83.
- Smol'janinova I.V., Ahmedov A.Je., Shatalov M.A. 2016. Metodicheskij podhod k ocenke i vyboru jeffektivnyh marketingovyh strategij predprijatija [Methodological approach to the assessment and selection of effective marketing strategies of the enterprise]. *Sinergija*. 4: 71-83.
- Althuizen N., Wierenga B., Chen B. 2016. Managerial Decision-Making in Marketing: Matching the Demand and Supply Side of Creativity. *Journal of Marketing Behavior*. 2. 129-176. 10.1561/107.00000033.
- Dawalibi A., Al-Dali I., Alkhayyal B. 2020. Best Marketing Strategy Selection Using Fractional Factorial Design with Analytic Hierarchy Process. *MethodsX*. 7. 100927. 10.1016/j.mex.2020.100927.
- Gonzalez M. R., Carrasco R., Sanchez-Figueroa C., Gavilan D. 2021. An RFM Model Customizable to Product Catalogues and Marketing Criteria Using Fuzzy Linguistic Models: Case Study of a Retail Business. *Mathematics*. 9. 1836. 10.3390/math9161836.
- Herrera F., Martinez L. 2000. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6): 746–752.
- Huchang L., Xu Z. 2017. Hesitant Fuzzy Set and Its Extensions. *Hesitant Fuzzy Decision Making Methodologies and Applications - Uncertainty and Operations Research*. pp. 1-36 10.1007/978-981-10-3265-3 1.
- Loginov I.V., Eremenko V.T., Eremenko S.V. [et al.] 2021. The decision making method for reconfiguration of adaptive infocommunication systems. *Advances in Dynamical Systems and Applications*. 16(1): 335-353.
- Martinez L., Herrera F. 2012. An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges. *Information Sciences*, 207(1): 1-18.
- Meng L., Li L. 2022. Time-sequential hesitant fuzzy set and its application to multi-attribute decision making. *Complex & Intelligent Systems*. 8. 10.1007/s40747-022-00690-0.



- Mohaghar A., Fathi M.R., Zarchi M., Omidian A. 2012. A combined VIKOR–fuzzy AHP approach to marketing strategy selection. *Business Management and Strategy*. 3. 10.5296/bms.v3i1.957.
- Raghunathan K., Ravichandran K.S., Kar S., Gupta P., Mehlawat M. 2021. Double-hierarchy hesitant fuzzy linguistic term set-based decision framework for multi-attribute group decision-making. *Soft Computing*. 25. 1-21. 10.1007/s00500-020-05328-2.
- Rodriguez R.M., Martinez Luis, Herrera Francisco. 2012. Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets for Decision Making. *IEEE transactions on fuzzy systems*. february 2012. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 20(1): 109-119.
- Rodriguez R.M., Labella A., Martinez L. 2016. An overview on fuzzy modelling of complex linguistic preferences in decision making, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(1): 81-94.
- Tarka P., Łobiński M. 2014. Decision Making in Reference to Model of Marketing Predictive Analytics – Theory and Practice. *Management and Business Administration. Central Europe*. 22. 60-69. 10.7206/mba.ce.2084-3356.90.
- Wang L., Li H., Zhang J., Yang J. 2022. Grey Relational Analysis Method for Probabilistic Double Hierarchy Linguistic Multiple Attribute Group Decision Making and Its Application to College Tennis Classroom Teaching Effect Evaluation. *Mathematical Problems in Engineering*. 1-17. 10.1155/2022/7419496.
- Wierenga B., Lans R. 2017. Marketing Decision Models: Progress and Perspectives. 10.1007/978-3-319-56941-3 1.
- Zahay D., Griffin A. 2010. Marketing strategy selection, marketing metrics, and firm performance. *Journal of Business & Industrial Marketing*. 25. 84-93. 10.1108/08858621011017714.
- Zhang M., Cao Ch. 2021. A 2-order Additive Fuzzy Measure Identification Method Based on Hesitant Fuzzy Linguistic Interaction Degree and Its Application in Credit Assessment. 10.21203/rs.3.rs-221239/v1.
- Zhang Y., Guan X. 2017. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. 32. 2679-2695. 10.3233/JIFS-16723.

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

Логинова Юлия Валентиновна, кандидат экономических наук, старший преподаватель департамента массовых коммуникаций и медиабизнеса Финансового университета при правительстве Российской Федерации, г. Москва, Россия

Логинов Илья Валентинович, кандидат технических наук, сотрудник Академии ФСО России, г. Орел, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Julia V. Loginova, candidate of economic science; senior lector of Department of mass communications and mediabusiness; Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Ilya V. Loginov, candidate of information science, The Academy of the Guard Service Russian Federation, Orel, Russia

Формирующий искусственный интеллект: новые возможности информационной поддержки регионального управления

Шишаев М.Г., Пимешков В.К., Никонорова М.Л., Ломов П.А.

Институт информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова ФИЦ КНЦ РАН,
Россия, 184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 24А
E-mail: m.shishaev@ksc.ru

Аннотация. Интеллектуальные информационные системы находят все более широкое применение в сфере регионального управления. Одной из современных базовых концепций их организации является формирующий искусственный интеллект. В данной статье представлен анализ содержания данного понятия и его соотнесение с существующими технологиями создания интеллектуальных информационных систем, а также обзор существующего опыта использования таких технологий формирующего искусственного интеллекта, как генеративно-сопоставительные искусственные нейронные сети и онтологии в различных прикладных задачах, связанных с региональным управлением. Делается вывод о том, что необходимой средой реализации формирующего искусственного интеллекта является информационная система с агентными свойствами. Также сделан вывод о широких возможностях использования формирующего искусственного интеллекта в сфере информационной поддержки регионального управления, с одной стороны, и не полном использовании всего потенциала современных интеллектуальных информационных технологий – с другой.

Ключевые слова: формирующий искусственный интеллект, генеративно-сопоставительная сеть, онтология, региональное управление

Благодарности: Исследование выполнено в рамках государственного задания ИИММ КНЦ РАН Министерства науки и высшего образования РФ, регистрационный номер темы НИР: 122022800551-0.

Для цитирования: Шишаев М.Г., Пимешков В.К., Никонорова М.Л., Ломов П.А. 2023. Формирующий искусственный интеллект: новые возможности информационной поддержки регионального управления. Экономика. Информатика, 50(2): 423–438. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-423-438

Formative Artificial Intelligence: New Opportunities for Information Support of Regional Management

Maksim G. Shishaev, Vadim K. Pimeshkov, Marina L. Nikonorova, Pavel A. Lomov

Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of RAS
24A Fersman St, Apatity, 184209, Russia
E-mail: m.shishaev@ksc.ru

Abstract. Intelligent information systems are increasingly used in the field of regional management. One of the modern basic concepts of their organization is the formative artificial intelligence. This article presents an analysis of this concept and its correlation with existing technologies of intelligent information systems, as well as an overview of the existing experience in using such formative artificial intelligence technologies as generative-adversarial neural networks and ontologies in various applied tasks to regional management. It is concluded that the necessary environment for the implementation of formative AI is an



information system with agent properties. The conclusion is made about the wide possibilities of using formative intelligence in the field of information support for regional management, on the one hand, and the incomplete use of the full potential of modern intelligent information technologies, on the other.

Keywords: formative artificial intelligence, generative adversarial network, ontology, regional management

Acknowledgements: The study was carried out within the framework of the state assignment of the IIMM KSC RAS of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, registration number of the project: 122022800551-0

For citation: Shishaev M.G., Pimeshkov V.K., Nikonorova M.L., Lomov P.A. 2023. Formative Artificial Intelligence: New Opportunities for Information Support of Regional Management. Economics. Information technologies, 50(2): 423–438 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-423-438

Введение

Современная проблематика регионального управления включает широкий спектр задач, требующих интенсивной обработки информации. Сложность этих задач как с точки зрения структуры, так и объема обрабатываемых данных, их разнородность в смысле охватываемых предметных областей обуславливают необходимость создания информационных систем (ИС), наделенных развитыми возможностями автоматизации обработки информации, в том числе – автоматизации отдельных связанных с этим когнитивных (интеллектуальных) функций человека. При разработке таких систем необходимо принимать во внимание следующие специфические особенности условий их функционирования:

- возможность и необходимость оперирования большими данными (для которых характерен большой объем, высокая скорость и постоянство процесса накопления, вариативность и другие свойства);

- структурная изменчивость информационной базы системы (изменение представлений о предметной области – не только в сторону расширения объема знаний, но и в их внутренней структуре);

- разнородность решаемых прикладных задач и, как следствие, необходимость обеспечения различных интерпретаций и семантической интеграции данных.

Общепринятым решением проблемы семантической разнородности предметной области является включение в состав ИС компонентов, обеспечивающих формальное представление знаний – онтологий, графов знаний, тезаурусов. Данные модели обеспечивают формальное описание структуры понятий предметной области, позволяющее осуществлять машинный логический вывод, формировать различные интерпретации понятий, решать проблему семантической неоднородности (согласовывать альтернативные семантические представления предметной области). В свою очередь, ответом на проблему динамичности предметной области является реализация в рамках системы механизмов обратной связи с внешней средой и адаптивности к меняющимся условиям. Одной из современных концепций, позволяющих реализовать вышеуказанные механизмы, является специфическая категория интеллектуальных систем и технологий – формирующий искусственный интеллект (ИИ).

В данной статье рассмотрена концепция формирующего ИИ с точки зрения ее применимости в контексте задач регионального управления и соотнесения с существующими подходами к разработке интеллектуальных информационных систем. Также представлен анализ существующей практики и перспектив применения элементов формирующего искусственного интеллекта в задачах регионального управления, рассмотрены примеры применения генеративных искусственных нейронных сетей (ИНС), а также прикладных онтологий и инструментов их создания в рамках рассматриваемой проблематики.

Формирующий искусственный интеллект в контексте существующих подходов к разработке интеллектуальных ИС

Естественным ответом на проблему динамичности предметных областей представляется наделение ИС возможностью «считывания» изменений из внешней среды, то есть – некоторыми свойствами агентных информационных систем, в соответствии с архитектурой BDI [Georgeff, 1995]. В частности, становятся необходимы «сенсоры» (специализированные модули для коммуникации с внешней средой) для считывания различных аспектов меняющегося контекста функционирования системы (представления пользователей о предметной области; спектр и текущая эффективность решаемых прикладных задач; когнитивные стереотипы пользователей и т.д.) с целью адаптации ее внутреннего состояния к изменяющимся условиям. Адаптация может выражаться как в изменении структуры базы знаний системы, так и в корректировке реализуемой в рамках системы прикладной или системной логики.

Следует отметить, что свойственная агентам проактивность (целенаправленное поведение), подразумевает некоторую креативность (интенциональность), то есть способность создания (по собственной инициативе) некоторых новых информационных объектов – изображений, новых знаний (фактов) или адекватных текущей ситуации управляющих воздействий. Машинная реализация таких свойств агента порождает специфическую категорию искусственного интеллекта (ИИ), имитирующего когнитивные функции человека, связанные с креативной (созидательной) деятельностью, который поименован в списке наиболее перспективных технологий от компании Gartner [Panetta, 2021] «формирующим искусственным интеллектом» (formative AI).

В отчете Gartner формирующий искусственный интеллект определен как «ряд новых технологий ИИ, которые могут динамически изменяться в ответ на ситуационные изменения». Кроме того, в качестве характеристического признака формирующего ИИ обычно указывают способность генерировать новый контент [Allan, 2020]. Таким образом, формирующий ИИ является расширением другой разновидности искусственного интеллекта – генеративного ИИ [Rouse, 2022]. Различие генеративного и формирующего ИИ в том, что первый, как и второй, способен создавать новые информационные объекты, но, в отличие от формирующего ИИ, в «реактивном» режиме, т.е. по запросу пользователя, а не в соответствии с собственными интенциями. При этом как генеративный, так и формирующий искусственный интеллект противопоставляются дискриминативному ИИ, обеспечивающему некоторый интеллектуальный анализ предъявляемого объекта (чаще всего – отнесение к какому-то классу) без порождения новых объектов. Формально, построение дискриминативной модели заключается в поиске функции распределения условной вероятности $p(y|x)$, где x – имеющиеся наблюдения, а y – предсказываемая характеристика объекта (класс), тогда как генеративная модель должна воспроизводить совместную вероятность $p(x,y)$, где x – имеющиеся наблюдения, а y – генерируемый новый объект.

Таким образом, можно отметить, что формирующий ИИ обладает, в некоторой степени, самоосознанием (имеет цель существования, в соответствии с которой генерирует реакции на внешнюю ситуацию), а также обладает и другими характеристиками, свойственными т.н. «сильному» ИИ – способностью к принятию решений, в т.ч. в условиях неопределенности; использованию стратегий; представлением знаний, включая общее представление о реальности; способностью к планированию и обучению [Russell et al., 2010]. Важно подчеркнуть, что сформулированная в том или ином виде цель существования/деятельности является определяющим компонентом формирующего искусственного интеллекта, поскольку, как показано в работе [Белов, Новиков, 2021], «креативность сосредоточена в этапе целеполагания и только в нем».

Технологически, формирующий ИИ может быть реализован с помощью комбинации архитектуры когнитивных агентов [Финн, 2021] и некоторой модели (моделей) генеративного ИИ. Такая комбинация позволяет реализовать независимое от человека (интенциональное) поведение системы, результатом которого является формирование новых

информационных объектов, внутренних или внешних по отношению к ИС. Под внутренними здесь понимаются объекты, предназначенные для использования самой системой (например, новые факты в базе знаний, выведенные на основе имеющихся наблюдений и процедурных знаний; новые или откорректированные алгоритмы обработки данных, реализующие прикладную или системную логику поведения ИС), а под внешними – объекты, предназначенные для пользователя системы (результаты поисковых запросов, элементы человеко-машинного интерфейса и т.п.). Обобщенная архитектура информационной системы, основанной на формирующем ИИ и реализующей указанные функции, представлена на рис. 1.

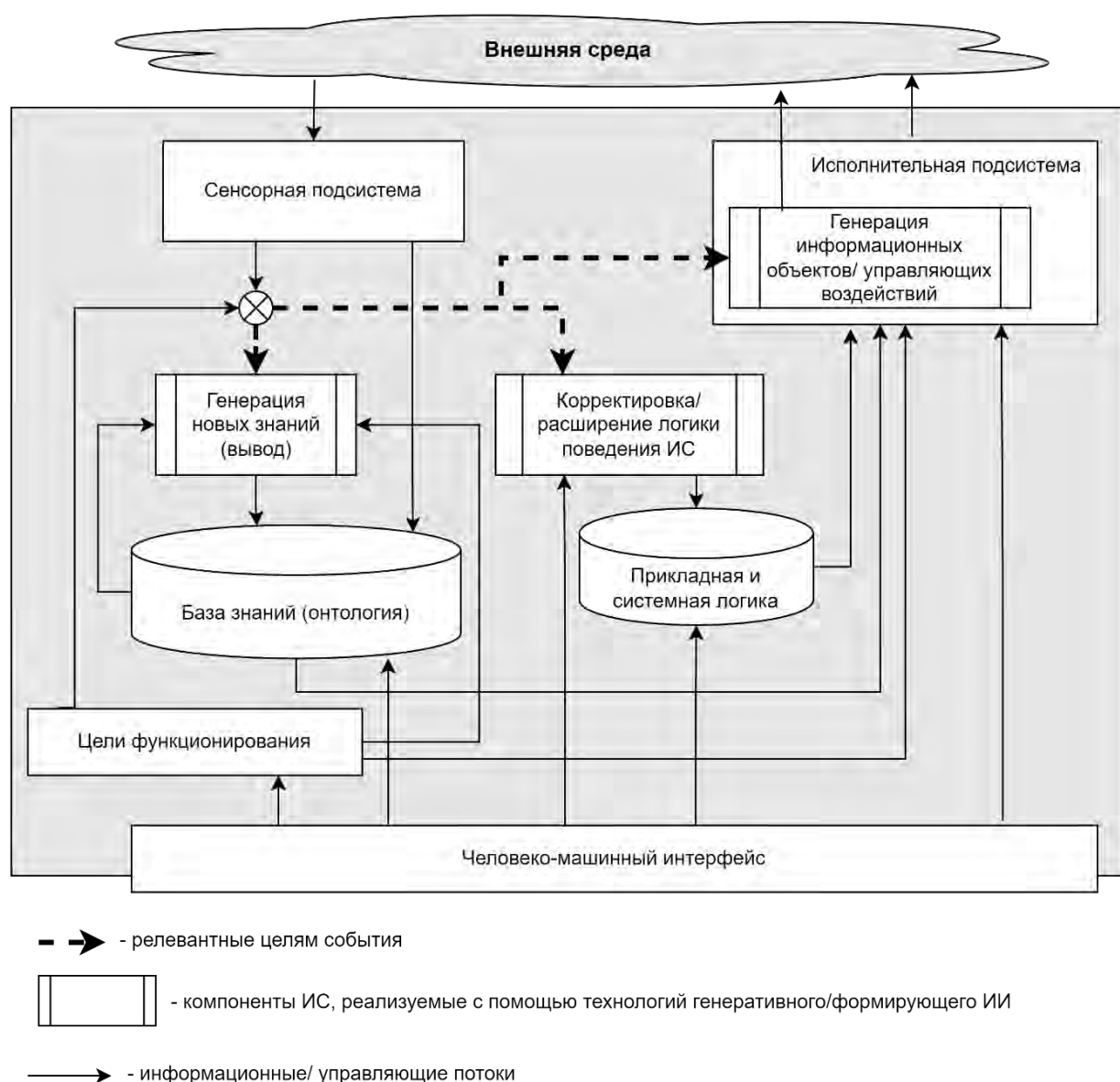


Рис.1. Обобщенная архитектура информационной системы, основанной на формирующем ИИ
 Fig.1. Generalized architecture of an information system based on formative AI

В целом, ИС на базе представленной архитектуры можно отнести к адаптивным системам искусственного интеллекта, концепция которых зародилась в середине XX века и развивается сегодня в рамках многих отечественных и зарубежных научных школ [Tarassov, Svyatkina, 2013; Белов, Новиков, 2021; Сохова, Редько, 2021; Финн, 2021]. В данной работе мы стремимся соотнести со сформировавшимися в рамках данных научных

школ подходами к построению адаптивных систем ИИ новую концепцию в области искусственного интеллекта – формирующий ИИ.

Различные источники [Allan, 2020; Phipps, 2021] относят к категории формирующего ИИ довольно широкий спектр информационных технологий – онтологии и графы знаний, основанные на искусственном интеллекте технологии проектирования и разработки, генеративный ИИ и генеративные состязательные сети, адаптивное машинное обучение и др. Однако мы видим, что вне контекста когнитивной агентной системы, обеспечивающей интенциональность поведения, данные технологии, фактически, являются реализацией генеративного ИИ.

Реализация в рамках формирующего ИИ интенционального поведения открывает новые возможности по автоматизации когнитивных функций человека при решении различных задач. Применение систем на основе формирующего ИИ оправдано, прежде всего, в случаях высокой сложности, разнородности и разнообразия решаемых прикладных задач, их изменчивости во времени и больших объемах информации, описывающей контекст задачи, т.е., в ситуациях, когда характер задачи предполагает высокую когнитивную нагрузку при ее решении. В рамках проблематики информационной поддержки регионального управления можно выделить множество подобных задач, в частности:

- автоматизация процессов информационного обеспечения управления;
- мониторинг социально-политической ситуации;
- мониторинг безопасности (различных ее аспектов);
- информационная поддержка планирования регионального развития.

Одними из наиболее эффективных и широко используемых технологий искусственного интеллекта, обладающих признаками формирующего ИИ, являются генеративно-состязательные (или «порождающие состязательные») искусственные нейронные сети (англ. Generative Adversarial Networks, GAN), а также онтологии. Генеративно-состязательные сети (ГСС) являются наиболее явным представителем технологий ИИ, обладающих «творческими» способностями – способностью генерировать новые информационные объекты некоторого класса, неотличимые от ранее существовавших («реальных»). Онтологии, благодаря имеющимся, в общем случае, возможностям логического вывода, также обладают способностью генерировать новые информационные объекты в виде новых фактов и знаний. Далее рассмотрен существующий опыт применения этих технологий в контексте различных задач регионального управления.

Генеративно-состязательные сети в задачах информационной поддержки регионального управления

Генеративно-состязательные сети, впервые предложенные Гудфеллоу и др. [Goodfellow et al., 2014], являются генеративной моделью, объединяющей концепции обучения с учителем и обучения без учителя. ГСС состоят из двух моделей: генератора и дискриминатора. Генератор пытается синтезировать новые экземпляры данных на основе имеющихся таким образом, чтобы дискриминатор не смог отличить синтезированные данные от реально существующих. Дискриминатор, в свою очередь, обычно представляющий из себя бинарный классификатор, пытается отличить подлинные образцы от сгенерированных. Эти две модели обучаются совместно в условиях игры с нулевой суммой, соревнуясь друг с другом, пока не будет достигнуто некоторое равновесие между моделями (рис. 2). Как правило, эти две модели реализуются с помощью нейронных сетей, но их можно реализовать и с помощью любой другой дифференцирующей системы, отображающей данные из одного пространства в другое.



Рис. 2. Концептуальная архитектура ГСС
Fig. 2. Conceptual architecture of GAN

Генеративные способности ГСС находят применение при решении таких технических задач, как синтез (создание новых по содержанию и формату) и аугментация (дополнение, расширение) данных [Wu et al., 2022]. ГСС наиболее успешно применяются в таких областях, как обработка изображений (image processing) и компьютерное зрение (computer vision), но также применяются и для обработки последовательных данных (sequential data), таких как текст. Из этих областей можно дальше выделить более конкретные задачи, такие как повышение разрешения изображений (image super-resolution), преобразование одних изображений в другие (image-to-image translation), обнаружение объектов (object detection), генерация изображений на основе текста (text-to-image generation), генерация текстовых описаний изображений (image-to-text / image caption), генерация текста и т.д.

Применяются ГСС и в широком спектре прикладных задач, связанных с региональным управлением: оценка и прогнозирование дорожного трафика, обнаружение и классификация дорожно-транспортных происшествий, прогнозирование воздействия природных катастроф, мониторинг загрязнения воздуха, градостроительное проектирование и управление энергосистемами.

Например, в работе [Zhang et al., 2019] генеративная сеть используется для прогнозирования дорожного трафика в новых районах. Для обучения сети авторами был собран датасет по данным из открытых источников, состоящий из набора сеток, делящих территорию на участки, с параметрами спроса и распределения трафика. Данные о спросе (количество посадок пассажиров в такси в определенной ячейке) и распределении трафика (количество машин остающихся или прибывающих в определенную ячейку) были получены из GPS-записей такси в городе Шэньчжэнь за шесть месяцев. Авторами использовалась Евклидова метрика для оценки качества сгенерированных моделью распределений по сравнению с реальными распределениями трафика. В ходе сравнения с другими методами решения задачи прогнозирования трафика, предлагаемая авторами модель продемонстрировала лучший результат в задаче генерации распределения трафика как при тестировании на оценочной выборке, так и в ходе внешнего тестирования на данных, которые не предъявлялись модели при обучении.

Пример использования ГСС для автоматического обнаружения и классификации дорожно-транспортных происшествий на основе данных социальных сетей и различных сенсорных данных представлен в работе [Chen et al., 2021]. Авторы предложили систему, использующую данные Твиттера и состоящую из генератора, двух кодировщиков, дискриминатора и классификатора (рис. 3). Кодировщики (один на основе рекуррентных нейронных сетей и второй, состоящий из слоев свертки и подвыборки – max pooling) используются для преобразования временных рядов и текстовых данных в числовые ряды, а с помощью классификатора дорожно-транспортные происшествия (ДТП) разделяются на два класса: собственно ДТП (аварии, дорожные работы и т.д.) и дорожно-транспортную информацию (отчеты о дорожных условиях, новых правилах дорожного движения или любой другой

информации, относящейся к транспортной инфраструктуре). Точность полученной модели составила $87.17 \pm 3.63 \%$.

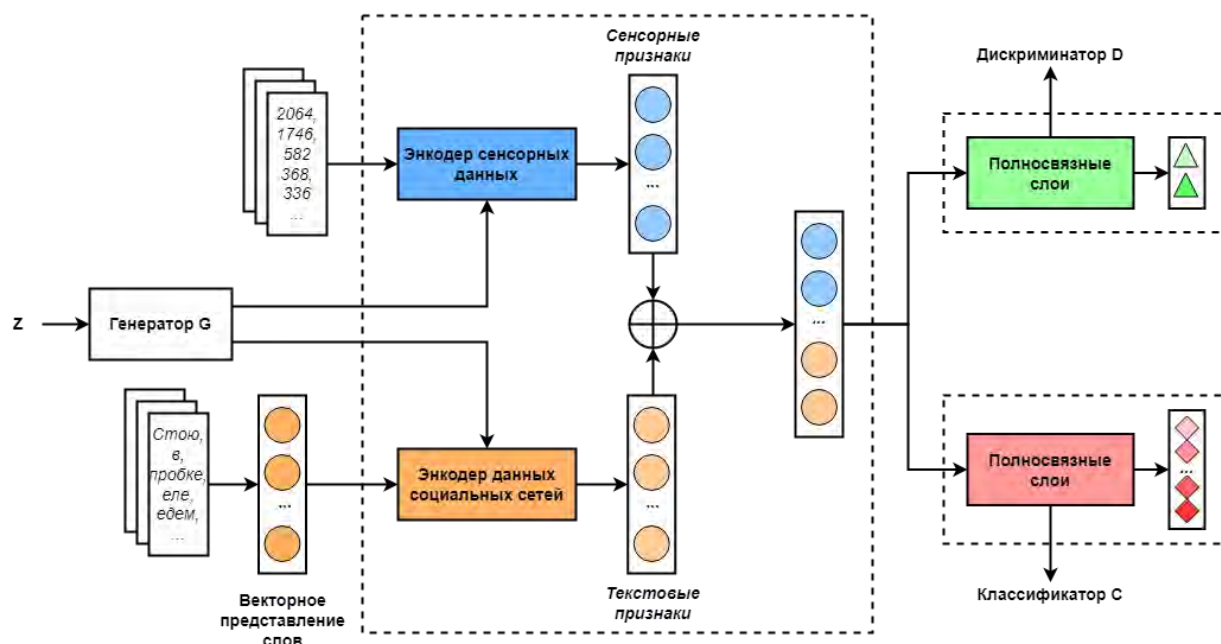


Рис. 3. Концептуальная архитектура системы обнаружения и классификации дорожно-транспортных происшествий

Fig. 3. Conceptual Architecture of a Traffic Accident Detection and Classification System

Пример использования формирующего интеллекта в задачах мониторинга чрезвычайных ситуаций представлен в работе [Lütjens et al., 2021], где с помощью ГСС синтезируются искусственные спутниковые снимки возможных прибрежных наводнений для обеспечения информирования правительства и населения о возможных рисках и масштабах потенциального бедствия. Авторы используют модифицированную модель Pix2pixHD, увеличив размеры входного слоя, для принятия во внимание карты географических границ затоплений. Такие карты генерировались с помощью модели SLOSH [Jelesnianski, 1992]. Изображения до и после затоплений были получены из готового датасета. Для оценки физической согласованности авторы использовали метод на основе пересечения множеств (intersection over union – IoU), оценивающий пересечение границ воды на сгенерированных изображениях с их картами границ затоплений. Такой метод полагается на маски затоплений (для сгенерированных изображений), и для их получения авторы обучили отдельную модель. Для оценки фотореализма полученной модели использовалась метрика LPIPS [Zhang et al., 2018]. Авторами также была предложена новая метрика (Flood Visualization Plausibility Score – FVPS), представляющая из себя гармоничное среднее по упомянутым ранее метрикам, ограниченным в интервале $[0, 1]$. Точность полученной модели по метрикам LPIPS – 0.265, 0.283; IoU – 0.502, 0.365; FVPS – 0.533, 0.408; на изображениях с высоким и низким разрешением соответственно. По утверждению авторов, разработанная модель может быть применена для визуализации и других климатических бедствий, таких как ураганы, лесные пожары или засухи.

В работе [Gao et al., 2020] ГСС используются для решения задачи пространственной интерполяции в применении к проблеме мониторинга загрязнения воздуха. Авторы используют классическую структуру ГСС, дополненную слоем внимания на основе нелокальных операций, позволяющим учесть влияние географического распределения метеостанций на интерполяцию, а также внутренние связи между наблюдаемыми показателями датчиков и пространственным распределением всех наблюдений (рис. 4). Для обучения модели авторы

использовали готовые наборы данных (датасеты), собранные в Пекине и Сан-Франциско. В ходе сравнения с другими методами решения задачи пространственной интерполяции (интерполяция методом ближайшего соседа, кригинг, кубическая интерполяция, SR-CNN, SR-GAN), предлагаемый авторами метод показал схожий или лучший результат, что доказывает перспективность использования ГСС для решения такого рода задач.



Рис. 4. Концептуальная архитектура системы пространственной интерполяции показателей загрязнения воздуха
 Fig. 4. Conceptual architecture of the system of spatial interpolation of air pollution indicators

Спектр задач регионального управления, где находят применение генеративно-состязательные сети, весьма широк и не ограничивается приведенными выше примерами. В частности, есть прецеденты использования ГСС в области градостроительного проектирования для решения широкого спектра задач, начиная от повышения резкости изображений дистанционного зондирования, до реконструирования 3D-моделей районов [Wu et al., 2022]. Также ГСС применяются и в области управления энергосистемами для прогнозирования энергопотребления в изолированных микросетях с учетом реактивных мощностей распределенных энергоресурсов [Sadek et al., 2021] или с учетом влияния погодных явлений на различные возобновляемые энергетические ресурсы [Wang et al., 2019; Liang, Tang, 2020].

Наряду с непосредственным применением в задачах информационной поддержки регионального управления ГСС применяются и опосредованно – для генерации данных, которые затем используются в рамках других методов машинного обучения, улучшая их или открывая возможности для создания новых. Примером такого применения является работа [Rui et al., 2021], где ГСС используется для синтеза снимков дистанционного зондирования мест природных катастроф различных типов и с различными типами повреждений зданий с целью компенсации недостатков существующих наборов данных в этой области.

Представленный краткий обзор показывает, что спектр задач информационной поддержки регионального управления, решаемых с помощью ГСС, достаточно обширный. При этом имеется опыт применения генеративно-состязательных сетей не только на «классических» задачах генерации изображений, но и для синтеза данных других типов. Основным сдерживающим фактором при использовании ГСС являются вопросы оценки качества работы таких моделей, поскольку качественная оценка сгенерированных данных одной из существующих метрик может быть осложнена природой генерируемых данных. Тем не менее, в целом ГСС являются перспективным инструментом или компонентом информационных систем, ориентированных на решение различных задач регионального управления.

Онтологические ресурсы для задач регионального управления

Онтология представляет собой формальное, структурное описание некоторой области знаний. Как правило, оно включает в себя понятия (классы) предметной области, их

свойства (атрибуты), отношения, а также построенные на основе них утверждения (аксиомы), позволяющие выводить новые знания.

На сегодняшний день существует ряд примеров использования онтологий для решения различных задач регионального управления. Например, онтология ReDO [Scorza et al., 2012] ориентирована на решение задач планирования регионального развития. Основная иерархия классов (всего 61) представлена такими понятиями как «Plan», «Project», «Policy», «Tools» и «Actors», связанными соответствующими отношениями (рис. 5). Авторы позиционируют ее как прикладной инструмент управления знаниями, позволяющий изучать структуры существующих программ развития, сравнивать и классифицировать их содержимое в рамках определенных в онтологии отношений.

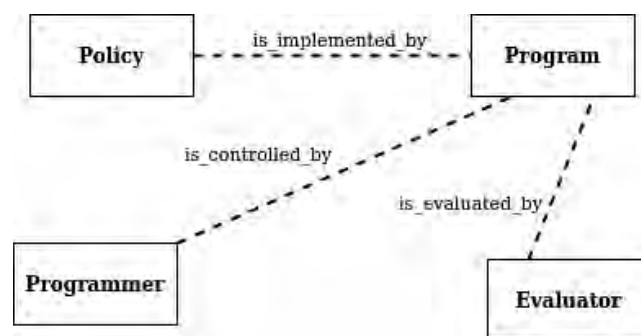


Рис. 5. Фрагмент онтологии ReDO

Fig. 5. ReDO ontology fragment

Онтология OntoReg [Andreasik, 2022] позволяет охарактеризовать некоторый регион с точки зрения политики регионального развития по трем группам признаков, представленных в виде иерархии из 84 классов онтологии:

- 1) абсолютные собственные свойства региона, приобретенные свойства и внешне обусловленные свойства;
- 2) относительные свойства, характеризующие потенциал региона и риск реализации региональной стратегии развития;
- 3) показатели потенциала развития и показатели риска.

Основной процесс использования данной онтологии заключается в том, что на основе имеющихся данных методом анализа иерархий оцениваются показатели потенциала, риска и определяется относительное свойство, отвечающее на вопрос о том, является ли конкретный потенциал или риск выше или ниже контрольного значения. Таким образом, получаемое относительное свойство представляет собой новое знание о регионе.

Онтологическая модель в работе [Шевандрин, Бондаренко, 2020] ориентирована на решение проблемы разработки и реализации государственной политики стимулирования экономического роста. Модель является результатом анализа федеральных и региональных нормативно-правовых документов и включает в себя следующую информацию в виде классов и отношений: цели, задачи, меры, действия, уровни, организация субъектов и объектов, функции и измерения. Данная модель не содержит конкретных экземпляров данных и представляет собой концептуальную основу для построения прикладных онтологий.

Другой пример – онтология POLARE [Laufer, Schwabe, 2017] – позиционируется как вспомогательный инструмент, используемый в процессе принятия политических решений на основе анализа соцсетей. Онтология описывает политическую систему, где наряду с центральными понятиями о людях, организациях и должностях (рис. 6) содержится информация о «происхождении» данных понятий (например, ссылки на источники, документы). Таким образом, данная онтология позволяет делать выводы о достоверности той информации, которую пользователи размещают в соцсетях в отношении объектов, ассоциированных с политикой, и принять соответствующие решения.

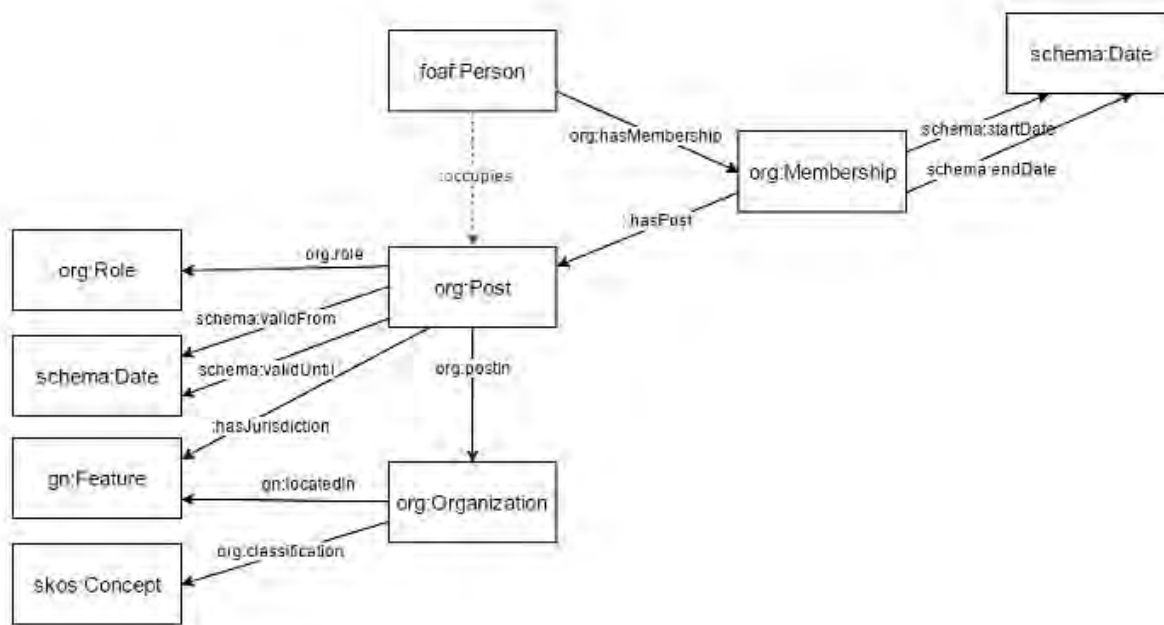


Рис. 6. Основные понятия онтологии POLARE
Fig. 6. Basic concepts of POLARE ontology

Наряду с онтологиями, описывающими региональное управление, как предметную область в целом, существуют примеры онтологических моделей, фокусирующихся на отдельных компонентах или аспектах региональных социально-экономических систем. Например, в работе [Шевандрин, Калинина, 2019] предложена онтологическая модель региональной кластерной политики, включающая описание кластерных образований, их типов, свойств, участников и т.д. По утверждению авторов, наполненная модель «позволит получить непротиворечивую базу знаний об организации системы оценки эффективности реализации кластерной политики социально-экономического развития региона». Другая онтологическая модель [Павлов, Ефремова, 2017] интегрирует разнородные по структуре и тематике пространственные базы данных с целью построения единой региональной базы данных для обеспечения информационной поддержки принятия решений по управлению регионом как территориальным образованием.

Таким образом, применение онтологий для решения различных задач регионального управления является довольно распространенной практикой. Однако в большинстве посвященных данному вопросу доступных научных публикаций не содержится информация о реализованных в рассматриваемых онтологиях возможностях логического вывода (аксиомах). Наряду с этим и сами онтологии отсутствуют в открытом доступе. В связи с этим можно предположить, что возможности онтологий, как технологии формирующего искусственного интеллекта (способной генерировать новый контент в виде формализованных знаний – фактов и аксиом), используются на практике не в полной мере.

Основные сложности в разработке и использовании онтологических моделей в системах информационной поддержки регионального управления заключаются, вероятно, в сложности (трудоемкости) их разработки. Поэтому применение онтологий оправдывает себя лишь в случаях интенсивного использования информационных систем на их основе, оправдывающего трудозатраты на их создание, либо при условии автоматизации процесса создания онтологии.

Еще одной серьезной проблемой в разработке онтологий является отсутствие единой однозначной интерпретации знаний. Это характерно и для рассматриваемой предметной области, где отмечается наличие нечеткого знания (нечетких интерпретаций понятий и отношений) в виде трудно структурируемых знаний, а также знаний с неопределенностью [Антонов

и др., 2020]. Например, понятие «власть», в зависимости от уровня (государственный или региональный), охватывает разные виды органов власти, в связи с чем определение его позиции в онтологии может быть затруднительным. Одним из способов решения данной проблемы является использование нечетких онтологий. Данные онтологии позволяют описать предметную область путем определения соответствующих понятий, отношений, свойств и аксиом в виде нечетких множеств [Антонов и др., 2020]. Судя по публикациям в открытых источниках, конкретных исследований, посвященных применению нечетких онтологий в области регионального управления, на сегодняшний день не проводится. Однако данные онтологии получили широкое применение в других областях, например, в медицине, рекомендательных системах, туризме, информационной безопасности и др. [Qasim et al., 2020].

Также следует отметить, что включение в онтологию развитых средств логического вывода еще более усложняет задачу, поскольку возникает проблема исключения противоречий в создаваемой на основе онтологии логической системе. Кроме того, насыщение онтологии аксиомами, задающими правила логического вывода, резко увеличивает вычислительную сложность процессов генерации новых знаний в рамках онтологии. В связи с этим в прикладных информационных системах, в том числе – системах поддержки регионального управления, часто используются упрощенные модели формального представления знаний, которые можно считать «усеченными» онтологиями – таксономии и тезаурусы.

Таксономия представляет собой упрощенную онтологию, описывающую иерархическую организацию понятий предметной области. То есть отношения, задаваемые таксономией на множестве объектов, ограничиваются такими, как «часть-целое», *broader/narrower* («шире/уже») или подобными. Формальное описание иерархии понятий открывает возможности применения для их анализа хорошо проработанного инструментария теории иерархических многоуровневых систем [Месарович и др., 1973], однако ограничение на тип используемых в таксономии отношений очевидным образом снижает возможности ее использования для генерации новых знаний. На практике таксономии широко используются в форме различных классификаторов, в том числе – ориентированных на использование в рамках задач регионального управления [Жихарев, 2007].

Тезаурус, как неформальный вид онтологии, позволяет зафиксировать единый набор терминов предметной области, а также их взаимосвязи и смысловое значение для дальнейшего использования в различного рода коммуникациях. В отличие от онтологии, основным элементом тезауруса являются термины (лексические обозначения понятия), которые подразделяются на дескрипторы (авторизованные термины, основной способ ссылки на понятие) и недескрипторы (синонимичный ряд дескриптора). Наиболее известными примерами тезаурусов являются AGROVOC и EuroVoc. AGROVOC (AGROVOC, 2023) – многоязычный тезаурус Продовольственной и сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций, охватывающий такие области, как продовольствие, питание, сельское хозяйство, рыболовство, лесное хозяйство и окружающую среду. На данный момент он насчитывает более 40 600 понятий, включающих до 963 000 терминов на 41 различных языках. AGROVOC применяется для индексации текста [Karwowski et al., 2019], при разработке баз данных [Naidu et al., 2019], для аннотирования сельскохозяйственных данных, автоматической разметки текста [Mietzsch et al., 2021]. EuroVoc [EuroVoc, 2023] является многоязычным (24 языка) мультидисциплинарным тезаурусом, охватывающим деятельность Европейского Союза. Версия EuroVoc 4.4, опубликованная в 2012 году, охватывает 21 область (политика, экономика, наука, финансы и т.д.) и включает 6883 понятия. На практике, в частности, данный тезаурус используется для индексации документов в системах документооборота европейских учреждений, а также для классификации юридических документов [Caled et al., 2019; Avram et al., 2021].

Заключение

Таким образом, можно заключить, что формирующий искусственный интеллект не является по своей сути абсолютно новой научной или технологической концепцией, но



обозначает категорию систем ИИ, наделенных некоторыми агентными свойствами, что если не отождествляет, то в значительной мере сближает формирующий ИИ с архитектурой когнитивных агентов. Важно отметить, что формирующий искусственный интеллект невозможен вне информационных систем, поскольку именно архитектура системы определяет ключевое свойство формирующего ИИ – адаптируемость к внешней среде. Наряду с адаптивностью, формирующий ИИ должен обладать другим важнейшим свойством – интенциональной креативностью, то есть способностью по собственной инициативе целенаправленно генерировать новые информационные объекты определенного класса, неотличимые от ранее существовавших.

Одними из типичных примеров технологий формирующего ИИ принято считать генеративно-состязательные ИНС и онтологии, хотя, как отмечено выше, вне контекста системы искусственного интеллекта с агентной архитектурой подобные технологии не обеспечивают свойство адаптивности формирующего ИИ. Тем не менее, упомянутые технологии занимают важное место в архитектуре основанных на формирующем искусственном интеллекте информационных систем, поскольку обеспечивают возможность генерации новых информационных объектов за счет логического вывода (в случае онтологий) и имитации, основанной на машинном обучении (в случае ГСС).

Онтологии и генеративно-состязательные ИНС находят применение в широком спектре прикладных задач обработки информации, в том числе и связанных с проблематикой регионального управления. Существуют примеры использования онтологий для формального представления предметных знаний с целью их использования при планировании регионального развития, анализе потенциала и рисков реализации различных стратегий развития, формировании политик с учетом реакции социума, отраженной в социальных сетях, а также при решении других задач. Следует отметить, что имеющаяся в открытом доступе информация не позволяет утверждать, что потенциал онтологий как инструмента не только накопления и хранения, но и вывода новых знаний используется в существующих прецедентах в полной мере. Наиболее распространенной практикой в контексте регионального управления, вероятно, следует считать использование онтологий (и их упрощенных аналогов в виде тезаурусов и таксономий) в качестве инструмента формального представления предметных знаний с целью унификации используемой понятийной базы и обеспечения базовых функций семантического анализа, не предполагающих сложного логического вывода, основанного на заложенных в онтологии фактах и аксиомах.

Генеративно-состязательные ИНС также находят применение в задачах, связанных с региональным управлением – моделировании последствий чрезвычайных ситуаций на территориях, градостроительном планировании и управлении энергосистемами, управлении развитием дорожных сетей, моделировании динамики экологических загрязнений и в других задачах. Основными технологическими проблемами в данном случае является наличие достаточно качественных и объемных датасетов, необходимых для тренировки ИНС, а также оценка качества (достоверности) генерируемого моделью контента в силу его специфичности, в общем случае.

В силу сложности, многообразия и динамичности прикладной проблематики регионального управления, информационные системы, реализующие принципы формирующего искусственного интеллекта, имеют большой потенциал применения в данной проблемной области. Вместе с тем, в открытых источниках отсутствуют сведения о примерах реализации подобных ИС для поддержки задач регионального управления. Таким образом, необходима проработка системных вопросов организации ИС, основанных на формирующем ИИ: как организовать совместное согласованное функционирование существующих базовых информационных технологий (в том числе – технологий искусственного интеллекта), чтобы обеспечить требуемые свойства формирующего ИИ и получить за счет этого значимый синергетический эффект в форме повышения уровня автоматизации когнитивных функций человека в рамках решения различных прикладных задач, связанных с региональным управлением.

Список источников

- AGROVOC Homepage. URL: <https://www.fao.org/agrovoc/> (дата обращения: 14 апреля 2023).
EuroVoc thesaurus. URL: http://publications.europa.eu/resource/cellar/7eecbd11-c00d-11e5-9e54-01aa75ed71a1.0002.01/DOC_1 (дата обращения: 14 апреля 2023).

Список литературы

- Антонов В.В., Бармина О.В., Никулина, Н.О. 2020. Поддержка принятия решений при управлении программными проектами на основе нечёткой онтологии. Онтология проектирования, 10(1 (35)), Article 1 (35).
- Белов М.В. Новиков Д.А. 2021. Структура креативной деятельности. Проблемы управления, 5, Article 5.
- Жихарев А.П. 2007. Состояние и перспективы использования общероссийских классификаторов в региональных АИС. Стандарты и качество, 6, 51.
- Месарович М., Мако Д., Такахара И. 1973. Теория иерархических многоуровневых систем: Пер. с англ. [Текст]. Мир; Книги (изданные с 1831 г. по настоящее время). <https://search.rsl.ru/ru/record/01007362516>
- Павлов С.В., Ефремова О.А. 2017. Онтологическая модель интеграции разнородных по структуре и тематике пространственных баз данных в единую региональную базу данных. Ontology of Designing, 7(3), 323–333. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2017-7-3-323-333>
- Сохова З.Б. Редько В.Г. 2021. Модель самоорганизации автономных агентов в децентрализованной среде. Проблемы управления, 2, Article 2.
- Финн В.К. 2021. Искусственный интеллект: Методология, применения, философия. Изд. 2, испр. И доп. URSS.
- Шевандрин А.В., Бондаренко П.В. 2020. Разработка онтологической модели государственной политики стимулирования экономического роста на федеральном и региональном уровнях. Фундаментальные исследования (Fundamental research), 4, 131–136. <https://doi.org/10.17513/fr.42737>
- Шевандрин А.В., Калинина А.Э. 2019. Онтологическое моделирование кластерных образований в экономике регионов. Московский экономический журнал, 10, Article 10.
- Allan K. 2020. What is formative AI and why should you care? IDG Connect. <https://www.idgconnect.com/article/3586601/what-is-formative-ai-and-why-should-you-care.html>
- Andreask J. 2022. The Ontology of the Region. Barometr Regionalny. Analizy i Prognozy, 18(1), 67–82. <https://doi.org/10.56583/br.723>
- Avram A.-M., Pais V., Tufis D. 2021. PyEuroVoc: A Tool for Multilingual Legal Document Classification with EuroVoc Descriptors (arXiv:2108.01139). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2108.01139>
- Caled D., Won M., Martins B., Silva M.J. 2019. A Hierarchical Label Network for Multi-label EuroVoc Classification of Legislative Contents. B.A. Doucet, A. Isaac, K. Golub, T. Aalberg, A. Jatowt (Ред.), Digital Libraries for Open Knowledge (с. 238–252). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30760-8_21
- Chen Q., Wang W., Huang K., De S., Coenen F. 2021. Multi-modal generative adversarial networks for traffic event detection in smart cities. Expert Systems with Applications, 177, 114939. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114939>
- Gao Y., Liu L., Zhang C., Wang X., Ma H. 2020. SI-AGAN: Spatial Interpolation with Attentional Generative Adversarial Networks for Environment Monitoring. ECAI 2020, 1786–1793. <https://doi.org/10.3233/FAIA200293>
- Georgeff M. 1995. BDI Agents: From Theory to Practice. International Conference on Multiagent Systems. https://www.academia.edu/30608557/BDI_Agents_From_Theory_to_Practice
- Goodfellow I.J., Pouget-Abadie J., Mirza M., Xu B., Warde-Farley D., Ozair S., Courville A., Bengio Y. 2014. Generative Adversarial Networks (arXiv:1406.2661). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1406.2661>
- Jelesnianski C.P. 1992. SLOSH: Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service.
- Karwowski W., Orłowski A., Rusek M. 2019. Applications of Multilingual Thesauri for the Texts Indexing in the Field of Agriculture. B.J. Pejaś, I.El Fray, T. Hyla, J. Kacprzyk (Ред.), Advances in Soft and Hard Computing (с. 185–195). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03314-9_17
- Kasey Panetta. 2021. 5 Trends Drive the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2020. Gartner. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-drive-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2020>
- Laufer C., Schwabe D. 2017. On Modeling Political Systems to Support the Trust Process. 1–16.



- Liang J., Tang W. 2020. Sequence Generative Adversarial Networks for Wind Power Scenario Generation. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38(1): 110–118. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2019.2952182>
- Lütjens B., Leshchinskiy B., Requena-Mesa C., Chishtie F., Díaz-Rodríguez N., Boulais O., Sankaranarayanan A., Piña A., Gal Y., Raïssi C., Lavin A., Newman D. 2021. Physically-Consistent Generative Adversarial Networks for Coastal Flood Visualization (arXiv:2104.04785). *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.04785>
- Margaret Rouse. 2022. What is Generative AI? - Definition from Techopedia. *Techopedia.Com*. <http://www.techopedia.com/definition/34633/generative-ai>
- Mietzsch E., Martini D., Kolshus K., Turbati A., Subirats I. 2021. How Agricultural Digital Innovation Can Benefit from Semantics: The Case of the AGROVOC Multilingual Thesaurus. *Engineering Proceedings*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/engproc2021009017>
- Naidu J., Dr.E.N.Ganesh, Shanmugasundaram. 2019. Investigation of agricultural data for data base creation like agris for farmers welfare. 6, 437–443.
- Phipps J. 2021. What Is Formative AI? Exploring the Future of AI Storage. *ESF. Enterprise Storage Forum*. <https://www.enterprisestorageforum.com/news/formative-ai/>
- Qasim I., Alam M., Khan S., Khan A.W., Malik K.M., Saleem M., Bukhari S.A.C. 2020. A comprehensive review of type-2 fuzzy Ontology. *Artificial Intelligence Review*, 53(2): 1187–1206. <https://doi.org/10.1007/s10462-019-09693-9>
- Rui X., Cao Y., Yuan X., Kang Y., Song W. 2021. DisasterGAN: Generative Adversarial Networks for Remote Sensing Disaster Image Generation. *Remote Sensing*, 13(21): Article 21. <https://doi.org/10.3390/rs13214284>
- Russell S., Russell S.J., Norvig P., Davis E. 2010. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall.
- Sadek S.M., Omran W.A., Hassan M.A. M., Talaat H.E.A. 2021. Data Driven Stochastic Energy Management for Isolated Microgrids Based on Generative Adversarial Networks Considering Reactive Power Capabilities of Distributed Energy Resources and Reactive Power Costs. *IEEE Access*, 9, 5397–5411. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048586>
- Scorza F., Casas G.B.L., Murgante B. 2012. That's ReDO: Ontologies and Regional Development Planning. B. Murgante, O. Gervasi, S. Misra, N. Nedjah, A.M.A.C. Rocha, D. Taniar, B.O. Apduhan (Ред.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2012* (Т. 7334, с. 640–652). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31075-1_48
- Tarassov V.B., Svyatkina M.N. 2013. Cognitive Measurements: The Future of Intelligent Systems. *Программные продукты и системы*. 4, 74–82.
- Wang F., Zhang Z., Liu C., Yu Y., Pang S., Duić N., Shafie-khah M., Catalão J.P.S. 2019. Generative adversarial networks and convolutional neural networks based weather classification model for day ahead short-term photovoltaic power forecasting. *Energy Conversion and Management*, 181, 443–462. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.11.074>
- Wu A.N., Stouffs R., Biljecki F. 2022. Generative Adversarial Networks in the built environment: A comprehensive review of the application of GANs across data types and scales. *Building and Environment*, 223, 109477. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109477>
- Zhang R., Isola P., Efros A.A., Shechtman E., Wang O. 2018. The Unreasonable Effectiveness of Deep Features as a Perceptual Metric. 586–595. https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2018/html/Zhang_The_Unreasonable_Effectiveness_CVPR_2018_paper.html
- Zhang Y., Li Y., Zhou X., Kong X., Luo J. 2019. TrafficGAN: Off-Deployment Traffic Estimation with Traffic Generative Adversarial Networks. 2019 *IEEE International Conference on Data Mining (ICDM)*, 1474–1479. <https://doi.org/10.1109/ICDM.2019.00193>

References

- Antonov V.V., Barmina O.V., Nikulina N.O. 2020. Decision support in managing software projects based on fuzzy ontology. *Design ontology*, 10(1 (35)), Article 1 (35). (in Russian)
- Belov M.V. Novikov D.A. 2021. The structure of creative activity. *Management Issues*, 5, Article 5. (in Russian)
- Zhikharev A.P. 2007. Status and prospects for the use of all-Russian classifiers in regional AIS. *Standards and Quality*, 6, 51. (in Russian)
- Mesarovic M., Mako D., Takahara I. 1973. *Theory of hierarchical multilevel systems: Per. from English [Text]. World; Books* (published from 1831 to the present). <https://search.rsl.ru/ru/record/01007362516> (in Russian)
- Pavlov S.V., Efremova O.A. 2017. An ontological model for integrating spatial databases that are heterogeneous in structure and subject matter into a single regional database. *Ontology of Designing*, 7(3), 323–333. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2017-7-3-323-333> (in Russian)
- Sokhova Z.B., Redko V.G. 2021. Model of self-organization of autonomous agents in a decentralized environment. *Management Issues*, 2, Article 2. (in Russian)
- Finn W.K. 2021. *Artificial Intelligence: Methodology, Applications, Philosophy*. Ed. 2, rev. And extra. URSS.

- Shevandrin A.V., Bondarenko P.V. 2020. Development of an ontological model of the state policy for stimulating economic growth at the federal and regional levels. *Fundamental research*, 4, 131–136. <https://doi.org/10.17513/fr.42737> (in Russian)
- Shevandrin A.V., Kalina A.E. 2019. Ontological modeling of cluster formations in the regional economy. *Moscow Economic Journal*, 10, Article 10. (in Russian)
- Allan K. 2020. What is formative AI and why should you care? IDG Connect. <https://www.idgconnect.com/article/3586601/what-is-formative-ai-and-why-should-you-care.html>
- Andreask J. 2022. The Ontology of the Region. *Barometr Regionalny. Analizy i Prognozy*, 18(1), 67–82. <https://doi.org/10.56583/br.723>
- Avram A.-M., Pais V., Tufis D. 2021. PyEuroVoc: A Tool for Multilingual Legal Document Classification with EuroVoc Descriptors (arXiv:2108.01139). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2108.01139>
- Caled D., Won M., Martins B., Silva M.J. 2019. A Hierarchical Label Network for Multi-label EuroVoc Classification of Legislative Contents. B.A. Doucet, A. Isaac, K. Golub, T. Aalberg, A. Jatowt (Ред.), *Digital Libraries for Open Knowledge* (p. 238–252). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30760-8_21
- Chen Q., Wang W., Huang K., De S., Coenen F. 2021. Multi-modal generative adversarial networks for traffic event detection in smart cities. *Expert Systems with Applications*, 177, 114939. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114939>
- Gao Y., Liu L., Zhang C., Wang X., Ma H. 2020. SI-AGAN: Spatial Interpolation with Attentional Generative Adversarial Networks for Environment Monitoring. *ECAI 2020*, 1786–1793. <https://doi.org/10.3233/FAIA200293>
- Georgeff M. 1995. BDI Agents: From Theory to Practice. *International Conference on Multiagent Systems*. https://www.academia.edu/30608557/BDI_Agents_From_Theory_to_Practice
- Goodfellow I.J., Pouget-Abadie J., Mirza M., Xu B., Warde-Farley D., Ozair S., Courville A., Bengio Y. 2014. Generative Adversarial Networks (arXiv:1406.2661). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1406.2661>
- Jelesnianski C.P. 1992. SLOSH: Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service.
- Karwowski W., Orłowski A., Rusek M. 2019. Applications of Multilingual Thesauri for the Texts Indexing in the Field of Agriculture. B.J. Pejaś, I.El Fray, T. Hyla, J. Kacprzyk (Ред.), *Advances in Soft and Hard Computing* (p. 185–195). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03314-9_17
- Kasey Panetta. 2021. 5 Trends Drive the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2020. Gartner. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-drive-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2020>
- Laufer C., Schwabe D. 2017. On Modeling Political Systems to Support the Trust Process. 1–16.
- Liang J., Tang W. 2020. Sequence Generative Adversarial Networks for Wind Power Scenario Generation. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38(1): 110–118. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2019.2952182>
- Lütjens B., Leshchinskiy B., Requena-Mesa C., Chishtie F., Díaz-Rodríguez N., Boulais O., Sankaranarayanan A., Piña A., Gal Y., Raïssi C., Lavin A., Newman D. 2021. Physically-Consistent Generative Adversarial Networks for Coastal Flood Visualization (arXiv:2104.04785). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.04785>
- Margaret Rouse. 2022. What is Generative AI? - Definition from Techopedia. Techopedia.Com. <http://www.techopedia.com/definition/34633/generative-ai>
- Mietzsch E., Martini D., Kolshus K., Turbati A., Subirats I. 2021. How Agricultural Digital Innovation Can Benefit from Semantics: The Case of the AGROVOC Multilingual Thesaurus. *Engineering Proceedings*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/engproc202109017>
- Naidu J., Dr.E.N.Ganesh, Shanmugasundaram. 2019. Investigation of agricultural data for data base creation like agris for farmers welfare. 6, 437–443.
- Phipps J. 2021. What Is Formative AI? Exploring the Future of AI Storage. ESF. Enterprise Storage Forum. <https://www.enterprisestorageforum.com/news/formative-ai/>
- Qasim I., Alam M., Khan S., Khan A.W., Malik K.M., Saleem M., Bukhari S.A.C. 2020. A comprehensive review of type-2 fuzzy Ontology. *Artificial Intelligence Review*, 53(2): 1187–1206. <https://doi.org/10.1007/s10462-019-09693-9>
- Rui X., Cao Y., Yuan X., Kang Y., Song W. 2021. DisasterGAN: Generative Adversarial Networks for Remote Sensing Disaster Image Generation. *Remote Sensing*, 13(21): Article 21. <https://doi.org/10.3390/rs13214284>
- Russell S., Russell S.J., Norvig P., Davis E. 2010. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall.
- Sadek S.M., Omran W.A., Hassan M.A. M., Talaat H.E.A. 2021. Data Driven Stochastic Energy Management for Isolated Microgrids Based on Generative Adversarial Networks Considering Reactive



- Power Capabilities of Distributed Energy Resources and Reactive Power Costs. *IEEE Access*, 9, 5397–5411. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048586>
- Scorza F., Casas G.B.L., Murgante B. 2012. That's ReDO: Ontologies and Regional Development Planning. B. Murgante, O. Gervasi, S. Misra, N. Nedjah, A.M.A.C. Rocha, D. Taniar, B.O. Apduhan (Ред.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2012* (Т. 7334, с. 640–652). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31075-1_48
- Tarassov V.B., Svyatkina M.N. 2013. Cognitive Measurements: The Future of Intelligent Systems. *Программные продукты и системы [Software products and systems]*, 4, 74–82.
- Wang F., Zhang Z., Liu C., Yu Y., Pang S., Duić N., Shafie-khah M., Catalão J.P.S. 2019. Generative adversarial networks and convolutional neural networks based weather classification model for day ahead short-term photovoltaic power forecasting. *Energy Conversion and Management*, 181, 443–462. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.11.074>
- Wu A.N., Stouffs R., Biljecki F. 2022. Generative Adversarial Networks in the built environment: A comprehensive review of the application of GANs across data types and scales. *Building and Environment*, 223, 109477. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109477>
- Zhang R., Isola P., Efros A.A., Shechtman E., Wang O. 2018. The Unreasonable Effectiveness of Deep Features as a Perceptual Metric. 586–595. https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2018/html/Zhang_The_Unreasonable_Effectiveness_CVPR_2018_paper.html
- Zhang Y., Li Y., Zhou X., Kong X., Luo J. 2019. TrafficGAN: Off-Deployment Traffic Estimation with Traffic Generative Adversarial Networks. 2019 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM), 1474–1479. <https://doi.org/10.1109/ICDM.2019.00193>

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

Шишаев Максим Геннадьевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник Института информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

Пимешков Вадим Константинович, аспирант, стажер-исследователь Института информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

Никонорова Марина Леонидовна, аспирант, инженер-исследователь Института информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

Ломов Павел Андреевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Maksim G. Shishaev, Doctor of Science (Tech.), Chief Research Fellow of the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

Vadim K. Pimeshkov, PhD student, research assistant of the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

Marina L. Nikonorova, PhD student, research assistant of the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

Pavel A. Lomov, Candidate of Science (Tech.), Senior Research Fellow of the Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 621.391

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-439-447

Модель доставки сообщения в сенсорной сети с низким энергопотреблением

¹ Ясир М.Д.Я., ² Польщиков К.А., ² Федоров В.И.

¹ Южный технический университет,

Ирак, 61001, г. Басра, ул. Шоссе Зубаир

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: muhaned.yaser@stu.edu.iq, polshchikov@bsu.edu.ru, fedorov_v@bsu.edu.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке математической модели доставки сообщения в сенсорной сети с низким энергопотреблением. Обоснована актуальность исследования процессов функционирования беспроводных сетей для сбора данных, передаваемых многочисленными узлами-датчиками, а также необходимость создания теоретически обоснованных средств снижения энергопотребления конечными приемо-передающими устройствами. На основе применения математического аппарата вероятностных графов получены аналитические выражения, позволяющие оценить вероятность доставки сообщения в сенсорной сети и среднее число кадров, которое потребуется для этого передать. Представлены результаты вычислительных экспериментов, проведенных с использованием разработанной модели. Получены количественные данные, показывающие, что повышение допустимого числа повторных передач дает возможность увеличить вероятность доставки сообщений в сенсорной сети, но при этом требуется передача большего числа кадров, что приводит к нежелательному росту энергопотребления конечных узлов.

Ключевые слова: IoT, сенсорная сеть, LoRaWAN, модель доставки сообщения, энергопотребление сетевых узлов, датчики, повторные передачи кадров

Для цитирования: Ясир М.Д.Я., Польщиков К.А., Федоров В.И. 2023. Модель доставки сообщения в сенсорной сети с низким энергопотреблением. Экономика. Информатика, 50(2): 439–447. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-439-447

Message Delivery Model in a Low-Power Sensor Network

¹ M.J.Y. Yaser, K.A. ² Polshchikov, ² V.I. Fedorov

¹ Southern Technical University,

Zubair Highway St, Basra, 61001, Iraq

² Belgorod National Research University,

85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: muhaned.yaser@stu.edu.iq, polshchikov@bsu.edu.ru, fedorov_v@bsu.edu.ru

Abstract. The article is devoted to the development of a mathematical model for message delivery in a sensor network with low power consumption. The relevance of the study of the processes of functioning of wireless networks for collecting data transmitted by numerous sensor nodes, as well as the need to create theoretically justified means of reducing power consumption by end transceivers, is substantiated. Based on the use of the mathematical apparatus of probabilistic graphs, analytical expressions are obtained that allow estimating the probability of message delivery in the sensor network and the average number of frames that will need to be transmitted for this. The results of computational experiments carried out using

the developed model are presented. Quantitative data have been obtained showing that increasing the allowed number of retransmissions makes it possible to increase the probability of message delivery in the sensor network, but this requires the transmission of more frames, which leads to an undesirable increase in the power consumption of end nodes. Based on the results obtained, further research is planned to develop an algorithm that minimizes the energy consumption of the end nodes of the sensor network.

Keywords: IoT, sensor network, LoRaWAN, message delivery model, power consumption of network nodes, sensors, frame retransmissions

For citation: Yaser M.J.Y., Polshchikov K.A., Fedorov V.I. 2023. Message Delivery Model in a Low-Power Sensor Network. Economics. Information technologies, 50(2): 439–447 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-439-447

Введение

В последние десятилетия усилия многих разработчиков и научных коллективов ориентированы на совершенствование беспроводных средств передачи информации [Rvachova, 2015; Polshchikov, Lazarev, Zdorovtsov, 2017; Константинов и др., 2016; Polshchikov, Shabeeb, Lazarev, 2020; Mahdi et al., 2021]. Одной из основных тенденций применения цифровых технологий является создание распределенных систем, осуществляющих управление различными прикладными процессами на основе сбора, обработки и анализа данных, полученных от многочисленных маломощных сенсорных приемо-передающих устройств. Подобные системы функционируют в рамках концепций «Интернета вещей» (Internet of Things, IoT), «умного города», «точного сельского хозяйства» [Radeta et al., 2019; Haque et al., 2020; Sahir, Abbina, Krishna, 2020; Umer et al., 2020; Luntovsky et al., 2021; Polshchikov et al., 2021; Jameel et al., 2022] и предполагают беспроводное подключение оконечных узлов-датчиков, суммарное количество которых по оценкам специалистов в текущем году достигнет 25 млрд.

Для организации IoT-инфраструктуры применяются технологии построения сетей передачи данных с низким энергопотреблением (Low Power Wide Area Network, LPWAN), создаваемые, в частности, на базе стандарта LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks) [Zhang, Zhang, Meng, 2019; Cheikh, Sabir, Sadik, 2022]. Конечные устройства LoRaWAN представляют собой недорогие беспроводные сенсорные узлы с большим радиусом действия (до 15 км), которые подключаются к сети с помощью шлюзов, образуя структуру «звезда их звезд». Благодаря такому способу наращивания сетевого покрытия обеспечивается широкий территориальный охват и высокая емкость сети. К преимуществам LoRaWAN также относятся высокая чувствительность и помехоустойчивость узлов, низкие энергетические затраты конечных устройств, экономия за счет возможности использования не лицензируемых частот. При этом технология имеет ограничения по мощности излучаемых сигналов и характеризуется невысокой скоростью передачи информации, поэтому применяется для обмена короткими сообщениями, содержащими данные измерений и управляющие команды.

Питание конечных LoRaWAN-узлов осуществляется с помощью источников электроэнергии в виде автономных элементов или аккумуляторных батарей. С учетом того, что в сети могут функционировать одновременно десятки тысяч и более узлов, несомненную важность приобретает снижение их энергопотребления. Анализ показал, что предлагаемые разработчиками и применяемые на практике методы снижения энергетических затрат сенсорных узлов [Park, Lee, Joe, 2020; Moysiadis et al., 2021; Zinonos, Chatzichristofis, Gkelios, 2022] имеют ряд существенных недостатков, связанных с использованием эвристических алгоритмов и недостаточным теоретическим обоснованием или, напротив, требующих формирования массивных обучающих данных и выполнения громоздких процедур нейросетевой настройки. Это определяет актуальность исследований, направленных на создание теоретически обоснованных средств снижения энергопотребления сенсорных узлов.

Целью статьи является разработка модели передачи сообщения в сенсорной сети для оценивания характеристик, влияющих на энергетические затраты сетевых конечных узлов. Для разработки этой математической модели предлагается использовать аппарат вероятностных графов, который успешно применяется при исследовании процессов

информационного обмена в беспроводных сетях [Константинов, Польшчиков, Лазарев, 2015; Polshchykov, Lazarev, Kiseleva, 2018; Джамил, Лихошерстов, Польшчиков, 2022].

Разработка модели процесса доставки сообщения в сенсорной сети

Сообщения в сети LoRaWAN передаются с помощью информационных блоков канального уровня модели OSI, именуемых кадрами. На рисунке 1 представлен вероятностный граф процесса доставки сообщения в сенсорной сети с помощью передачи кадров. Рассматривается случай, при котором сообщение имеет короткую битовую длину и может быть доставлено с помощью одного информационного кадра.

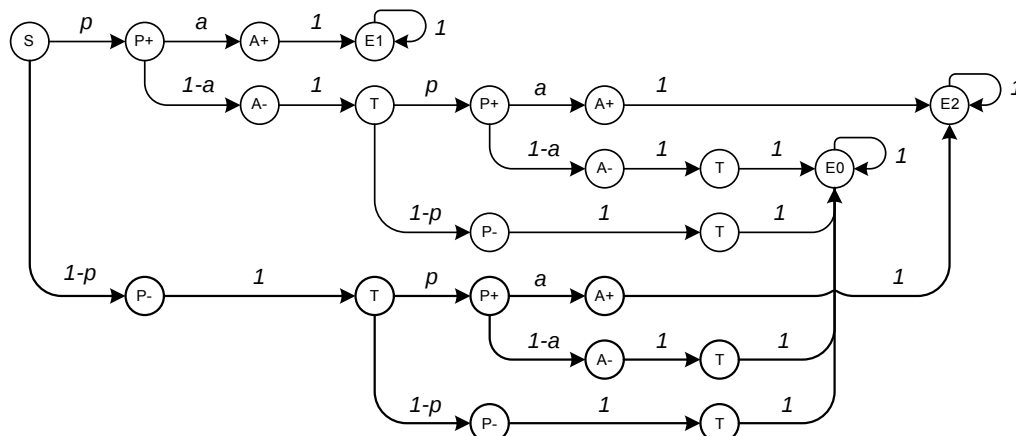


Рис. 1. Граф процесса доставки сообщения
Fig. 1. Graph of message delivery process

Начало процесса доставки сообщения моделируется вершиной « S ». Конечным узлом отправляется информационный кадр, адресуемый узлу-шлюзу. Этот кадр может быть корректно принят узлом-шлюзом, в таком случае моделируемый процесс переходит в состояние « $P+$ ». Если информационный кадр корректно принят, то узлом-шлюзом в обратном направлении передается кадр-подтверждение, адресуемый соответствующему конечному узлу. В случае корректного приема этого подтверждения конечным узлом, моделируемый процесс переходит в состояние « $A+$ ». Результатом вышеуказанных переходов является успешная доставка сообщения с помощью одного информационного кадра, что соответствует терминальному состоянию « $E1$ » моделируемого процесса.

Из состояния « $P+$ » моделируемый процесс может перейти в состояние « $A-$ », если подтверждение на корректно принятый кадр не было успешно доставлено конечному узлу. В этом случае в конечном узле срабатывает таймер повторной передачи, и моделируемый процесс переходит в состояние « T ». Срабатывание таймера повторной передачи происходит по прошествии заданного интервала времени, в течение которого конечный узел ожидает получение подтверждения успешной доставки кадра, отправленного узлу-шлюзу. Факт срабатывания этого таймера указывает на необходимость принятия решения о повторной передаче кадра узлу-шлюзу. При этом принимается во внимание, что число повторных передач не должно превышать некоторого допустимого значения NRT . Такое ограничение на повторную отправку кадров используется для недопущения перегрузок, вызванных чрезмерным ростом сетевого трафика.

После срабатывания таймера повторной передачи возможен один из двух вариантов:

- 1) если число сделанных повторных передач меньше заданного значения NRT , то конечный узел дублирует передачу кадра узлу-шлюзу;
- 2) если число сделанных повторных передач равняется заданной величине NRT , то доставка сообщения безуспешно завершается, и моделируемый процесс переходит в терминальное состояние « $E0$ ».

Возможны ситуации, когда содержащаяся в кадре информация в процессе передачи будет искажена вследствие неблагоприятной помеховой обстановки или других случайных факторов. Не исключены также ситуации, при которых не может быть обеспечен прием этой информации средствами физического уровня модели OSI из-за низкого уровня соответствующих сигналов на входе шлюза. В таких ситуациях моделируемый процесс переходит в состояние « $P-$ », а затем в конечном узле срабатывает таймер повторной передачи, и моделируемый процесс переходит в состояние « T ». Если после срабатывания таймера повторной передачи дублируется передача кадра, продублированный кадр корректно принимается узлом-шлюзом, а затем на этот кадр в конечный узел приходит подтверждение, то считается, что выполнена успешная доставка сообщения с помощью отправки двух информационных кадров, и моделируемый процесс переходит в терминальное состояние « $E2$ ».

Изображенный на рисунке 1 граф моделирует процесс доставки сообщения при $NRT = 1$. Он может быть преобразован к более простому виду, представленному на рисунке 2.

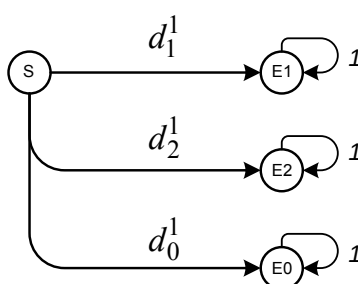


Рис. 2. Граф процесса доставки сообщения в упрощенном виде
Fig. 2. Graph of the message delivery process in a simplified form

Вероятность перехода из начальной вершины « S » в терминальную вершину « $E1$ » соответствует вероятности доставки сообщения с помощью одного кадра, для вычисления которой следует использовать следующее выражение:

$$d_1^1 = p \cdot a, \quad (1)$$

где p – вероятность доставки кадра; a – вероятность доставки подтверждения.

Вероятность перехода из начальной вершины « S » в терминальную вершину « $E2$ » соответствует вероятности доставки сообщения с помощью двух кадров, значение которой можно вычислить по формуле:

$$d_2^1 = p \cdot (1-a) \cdot p \cdot a + (1-p) \cdot p \cdot a = p \cdot a \cdot [p \cdot (1-a) + (1-p)]. \quad (2)$$

Переход из начальной вершины « S » в терминальную вершину « $E0$ » осуществляется с вероятностью того, что сообщение, передаваемое из конечного узла, в результате не будет доставлено в узел-шлюз. Значение этой вероятности можно вычислить с помощью следующего выражения:

$$\begin{aligned} d_0^1 &= p \cdot (1-a) \cdot p \cdot (1-a) + p \cdot (1-a) \cdot (1-p) + (1-p) \cdot p \cdot (1-a) + \\ &+ (1-p) \cdot (1-p) = p^2 \cdot (1-a)^2 + 2 \cdot p \cdot (1-a) \cdot (1-p) + (1-p)^2 = \\ &= [p \cdot (1-a) + (1-p)]^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Из выражения (3) можно получить формулу для вычисления вероятности доставки сообщения, имеющую следующий вид:

$$d^1 = 1 - [p \cdot (1 - a) + (1 - p)]^2. \quad (4)$$

Для доставки сообщения при $NRT = 1$ в среднем потребуется передать d_{aver}^1 кадров. Вычислить эту величину можно с помощью следующего выражения:

$$d_{aver}^1 = d_1^1 + 2 \cdot d_2^1. \quad (5)$$

В рамках выполненного исследования построен граф, моделирующий процесс доставки сообщения при $NRT = 2$. Получены выражения для вычисления вероятностей доставки сообщения с помощью одного, двух и трех кадров соответственно:

$$d_1^2 = p \cdot a, \quad (6)$$

$$d_2^2 = p \cdot a \cdot [p \cdot (1 - a) + (1 - p)], \quad (7)$$

$$d_3^2 = p \cdot a \cdot [p \cdot (1 - a) + (1 - p)]^2, \quad (8)$$

а также выражения для вычисления вероятности доставки сообщения и требуемого для этого среднего числа кадров:

$$d^2 = 1 - [p \cdot (1 - a) + (1 - p)]^3, \quad (9)$$

$$d_{aver}^2 = d_1^2 + 2 \cdot d_2^2 + 3 \cdot d_3^2. \quad (10)$$

Аналогично получены выражения для вычисления величин, характеризующих процесс доставки сообщений при $NRT = 3, 4$ и 5 . Анализ этих и представленных выше выражений позволил вывести обобщенные формулы для оценивания величин, характеризующих процесс доставки сообщений в сенсорной сети при NRT , равному любому натуральному числу n . В результате для вычисления вероятности доставки сообщения в сенсорной сети с помощью $(n + 1)$ кадров получено следующее выражение:

$$d_{n+1}^n = p \cdot a \cdot [p \cdot (1 - a) + (1 - p)]^n. \quad (11)$$

Вычислить вероятность доставки сообщения в сенсорной сети при $NRT = n$ можно с помощью следующего выражения:

$$d^n = 1 - [p \cdot (1 - a) + (1 - p)]^{n+1}. \quad (12)$$

Наконец, оценить величину среднего числа кадров, которое потребуется передать для доставки сообщения в сенсорной сети при $NRT = n$, можно с помощью следующего выражения:

$$d_{aver}^n = d_1^n + 2 \cdot d_2^n + 3 \cdot d_3^n + \dots + (n + 1) \cdot d_{n+1}^n. \quad (13)$$

Проведение вычислительных экспериментов

Представленные выше выражения (1) – (13) использованы при проведении вычислительных экспериментов, в ходе которых оценивались характеристики доставки сообщений

в сенсорной сети. Результаты этих исследований представлены ниже. При вычислении оцениваемых характеристик вероятности доставки подтверждений принимались равными вероятностям доставки кадров.

На рисунке 3 показаны полученные кривые зависимости величин d_{aver}^1 , d_{aver}^2 и d_{aver}^3 от вероятности доставки кадра в сенсорной сети.

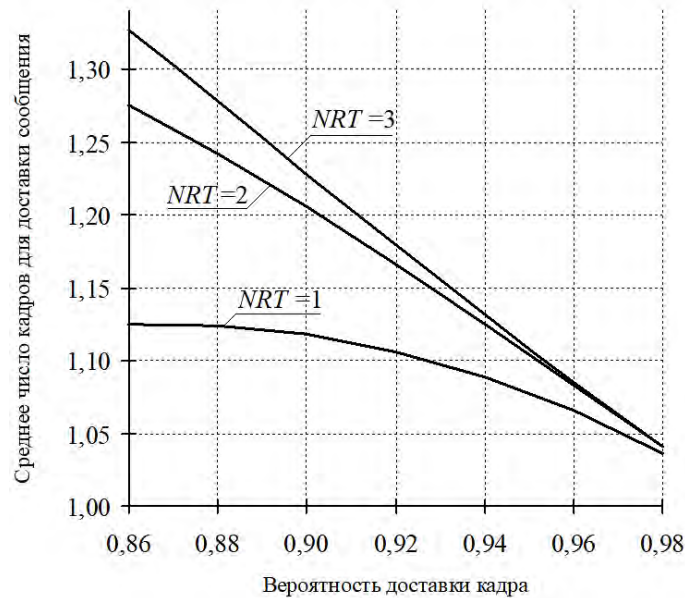


Рис. 3. Кривые зависимости передаваемого среднего числа кадров от вероятности доставки кадра в сенсорной сети

Fig 3. Curves of dependence of the transmitted average number of frames on the probability of frame delivery in the sensor network

На рисунке 4 показаны полученные кривые зависимости величин d^1 , d^2 и d^3 от значений вероятности p .

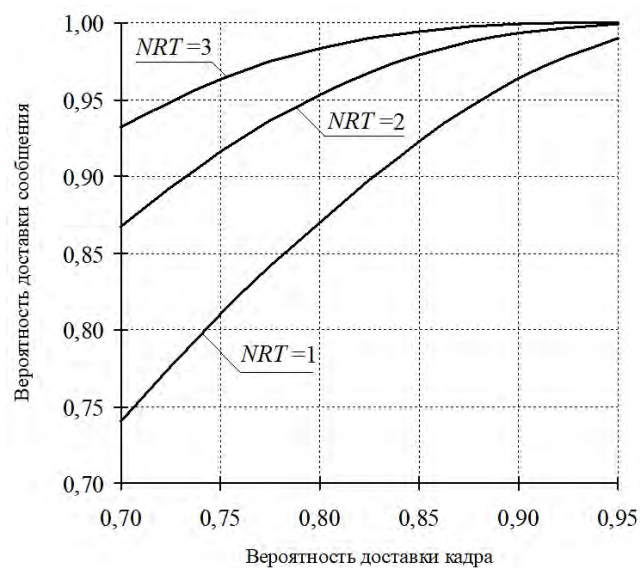


Рис. 4. Кривые зависимости вероятности доставки сообщения от вероятности доставки кадра в сенсорной сети

Fig 4. Curves of Dependence of the Message Delivery Probability on the Frame Delivery Probability in the Sensor Network

Графические зависимости, представленные на рисунке 3, наглядно демонстрируют, что с ростом параметра NRT для доставки сообщений в сенсорной сети требуется передача большего числа кадров. Однако увеличение NRT дает возможность повысить вероятность доставки сообщений, что видно из рисунка 4.

Заключение

Таким образом, с использованием математического аппарата вероятностных графов разработана модель доставки сообщения в сенсорной сети, которая дает возможность оценить ряд характеристик, влияющих на энергетические затраты сетевых конечных узлов. Предполагается, что сообщения в исследуемой сети передаются с помощью отдельных кадров. В модели учитываются ситуации, когда содержащаяся в кадре информация в процессе передачи искажается вследствие неблагоприятной помеховой обстановки или других случайных факторов, а также ситуации, при которых не может быть обеспечен качественный прием сигналов, имеющих слишком низкий энергетический уровень. В таких ситуациях моделируются повторные передачи кадров. Число повторных передач ограничивается для недопущения перегрузок, вызванных чрезмерным ростом сетевого трафика.

Применение модели позволяет оценить вероятность доставки сообщения в сенсорной сети и среднее число кадров, которое потребуется для этого передать. С использованием разработанной модели проведены вычислительные эксперименты, в результате которых получены количественные данные, показывающие, что повышение допустимого числа повторных передач дает возможность увеличить вероятность доставки сообщений в сенсорной сети, но при этом требуется передача большего числа кадров, что приводит к нежелательному росту энергопотребления конечных узлов.

На основе полученных результатов планируется проведение дальнейших исследований, посвященных разработке алгоритма, обеспечивающего минимизацию энергопотребления конечных узлов сенсорной сети.

Список литературы

- Джамил К.Дж.К., Лихошерстов Р.В., Польщиков К.А. 2022. Модель передачи видеопотоков в летающей беспроводной самоорганизующейся сети. Экономика. Информатика, 49(2): 403–415. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-403-415.
- Константинов И.С., Пилипенко О.В., Польщиков К.А., Иващук О.Д. 2016. К вопросу обеспечения связи в процессе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах строительства. Строительство и реконструкция, 1(63): 40-46.
- Константинов И.С., Польщиков К.А., Лазарев С.А. 2015. Имитационная модель передачи информационных потоков в мобильной радиосети специального назначения. Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика, 13 (210): 156–163.
- Cheikh I., Sabir E., Sadik M. 2022. Multi-Layered Energy Efficiency in LoRa-WAN Networks: A Tutorial. IEEE Access, 10: 9198-9231.
- Haque K.F., Abdelgawad A., Yanambaka V.P., Yelamarthi K. 2020. Lora architecture for v2x communication: An experimental evaluation with vehicles on the move. Sensors, 20(23): 1-26.
- Jameel J.Q., Mahdi T.N., Polshchykov K.A., Lazarev S.A., Likhosherstov R.V., Kiselev V.E. 2022. Development of a mathematical model of video monitoring based on a self-organizing network of unmanned aerial vehicles // Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 10(6): 84-95.
- Luntovskyy A., Shubyn B., Maksymyuk T., Klymash M. 2021. 5G Slicing and Handover Scenarios: Compulsoriness and Machine Learning. Lecture Notes in Networks and Systems, 212: 223-255.
- Mahdi T.N., Jameel J.Q., Polshchykov K.A., Lazarev S.A., Polshchykov I.K., Kiselev V.E. 2021. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 9(4): 1138-1145.
- Moysiadis V., Lagkas T., Argyriou V., Sarigiannidis A., Moscholios I.D., Sarigiannidis P. 2021. Extending ADR mechanism for LoRa enabled mobile end-devices. Simulation Modelling Practice and Theory, 113: 102388.



- Park G., Lee W., Joe I. 2020. Network resource optimization with reinforcement learning for low power wide area networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020: 176.
- Polshchikov K., Lazarev S., Zdorovtsov A. 2017. Multimedia Messages Transmission Modeling in a Mobile Ad Hoc Network. *Proceedings of the 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*: 24–27.
- Polshchikov K.O., Lazarev S.A., Kiseleva E.D. 2018. Mathematical Model of Multimedia Information Exchange in Real Time Within a Mobile Ad Hoc Network. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 18(6): 20–24.
- Polshchikov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S. 2020. Algorithm for receiving the recommended bandwidth of a wireless self-organizing network channel. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 8(3): 1873–1879.
- Polshchikov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S., Kiselev V. 2021. Justification for the decision on loading channels of the network of geoeological monitoring of resources of the agroindustrial complex. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(3): 781–787.
- Radeta M., Ribeiro M., Vasconcelos D., Nunes N.J. 2019. LoRattle – An Exploratory Game with a Purpose Using LoRa and IoT, 11863: 263-277.
- Rvachova N., Sokol G., Polshchikov K., Davies J.N. 2015. Selecting the intersegment interval for TCP in telecomms networks using fuzzy inference system. *Proceedings of the 6th International Conference “Internet Technologies and Applications” (ITA)*: 256-260.
- Sahir S., Abbina Y., Krishna P.G. 2020. Implementation of environment gases monitoring system using lora gateway in smart cities with IoT technology, 12(2): 1109-1118.
- Umer M.A., Stepanov S.N., Ndayikunda J., Kanishcheva M.G. 2020. Cellular network resource distribution methods for the joint servicing of real-time multiservice traffic and grouped IoT traffic. *T-Comm*, 14(10): 61-69.
- Zhang X., Zhang M., Meng F. 2019. A Low-Power Wide-Area Network Information Monitoring System by Combining NB-IoT and LoRa. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(1): 590-598.
- Zinonos Z., Chatzichristofis S.A., Gkelios S. 2022. Grape Leaf Diseases Identification System Using Convolutional Neural Networks and LoRa Technology, 10: 122-133.

References

- Jameel K.J.Q., Likhosherstov R.V., Polshchikov K.A. 2022. Model of Video Streams Transmission in a Flying Ad Hoc Network. *Economics. Information technologies*, 49(2): 403–415 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-403-415.
- Konstantinov I.S., Pilipenko O.V., Polshchikov K.A., Ivashuk O.D. 2016. The issue of communication in the process of prevention and liquidation of emergency situations at construction sites. *Building and reconstruction*, 1 (63): 40–46. (in Russian).
- Konstantinov I.S., Polshchikov K.A., Lazarev S.A. 2015. Simulation model of information flows transmission in mobile ad-hoc network for special purpose. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*, 13 (210): 156–163. (in Russian).
- Cheikh I., Sabir E., Sadik M. 2022. Multi-Layered Energy Efficiency in LoRa-WAN Networks: A Tutorial. *IEEE Access*, 10: 9198-9231.
- Haque K.F., Abdelgawad A., Yanambaka V.P., Yelamarthi K. 2020. Lora architecture for v2x communication: An experimental evaluation with vehicles on the move. *Sensors*, 20(23): 1-26.
- Jameel J.Q., Mahdi T.N., Polshchikov K.A., Lazarev S.A., Likhosherstov R.V., Kiselev V.E. 2022. Development of a mathematical model of video monitoring based on a self-organizing network of unmanned aerial vehicles // *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 10(6): 84-95.
- Luntovskyy A., Shubyn B., Maksymyuk T., Klymash M. 2021. 5G Slicing and Handover Scenarios: Compulsoriness and Machine Learning. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 212: 223-255.
- Mahdi T.N., Jameel J.Q., Polshchikov K.A., Lazarev S.A., Polshchikov I.K., Kiselev V.E. 2021. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geoeological monitoring system. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(4): 1138-1145.
- Moysiadis V., Lagkas T., Argyriou V., Sarigiannidis A., Moscholios I.D., Sarigiannidis P. 2021. Extending ADR mechanism for LoRa enabled mobile end-devices. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 113: 102388.
- Park G., Lee W., Joe I. 2020. Network resource optimization with reinforcement learning for low power wide area networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020: 176.

- Polshchikov K., Lazarev S., Zdorovtsov A. 2017. Multimedia Messages Transmission Modeling in a Mobile Ad Hoc Network. Proceedings of the 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT): 24–27.
- Polshchikov K.O., Lazarev S.A., Kiseleva E.D. 2018. Mathematical Model of Multimedia Information Exchange in Real Time Within a Mobile Ad Hoc Network. International Journal of Computer Science and Network Security, 18(6): 20–24.
- Polshchikov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S. 2020. Algorithm for receiving the recommended bandwidth of a wireless self-organizing network channel. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 8(3): 1873–1879.
- Polshchikov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S., Kiselev V. 2021. Justification for the decision on loading channels of the network of geoeological monitoring of resources of the agroindustrial complex. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 9(3): 781–787.
- Radeta M., Ribeiro M., Vasconcelos D., Nunes N.J. 2019. LoRattle – An Exploratory Game with a Purpose Using LoRa and IoT, 11863: 263–277.
- Rvachova N., Sokol G., Polshchikov K., Davies J.N. 2015. Selecting the intersegment interval for TCP in telecomms networks using fuzzy inference system. Proceedings of the 6th International Conference “Internet Technologies and Applications” (ITA): 256–260.
- Sahir S., Abbina Y., Krishna P.G. 2020. Implementation of environment gases monitoring system using lora gateway in smart cities with IoT technology, 12(2): 1109–1118.
- Umer M.A., Stepanov S.N., Ndayikunda J., Kanishcheva M.G. 2020. Cellular network resource distribution methods for the joint servicing of real-time multiservice traffic and grouped IoT traffic. T-Comm, 14(10): 61–69.
- Zhang X., Zhang M., Meng F. 2019. A Low-Power Wide-Area Network Information Monitoring System by Combining NB-IoT and LoRa. IEEE Internet of Things Journal, 6(1): 590–598.
- Zinonos Z., Chatzichristofis S.A., Gkelios S. 2022. Grape Leaf Diseases Identification System Using Convolutional Neural Networks and LoRa Technology, 10: 122–133.

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

Ясир Муханад Джаббар Ясир, магистр наук, Ассистент преподавателя Южного технического университета, г. Басра, Ирак.

Польщиков Константин Александрович, доктор технических наук, доцент, директор института инженерных и цифровых технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Федоров Вячеслав Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yaser Muhanad Jabar Yaser, MSc, Assistant lecturer of Southern Technical University, Basra, Iraq.

Konstantin A. Polshchikov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Engineering and Digital Technologies of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Vyacheslav I. Fedorov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia



УДК 621.39

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-448-455

Формирование сигнально-кодовых конструкций с возможностью восстановления искаженных фрагментов

¹ Помазанов И.С., ² Жилияков Е.Г.

¹ Общество с ограниченной ответственностью Микрокредитная компания «Денежная единица»,
Россия, 308009, г. Белгород, Народный бульвар, 79, офис 407

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье рассматривается задача восстановления искажённых фрагментов сигнально-кодовой конструкции (СКК) под влиянием внешних помех. Показано, что такое восстановление возможно при формировании сигнально-кодовых конструкций на основе базиса собственных векторов субполсных матриц, которые соответствуют единичным собственным числам. Получены соотношения для восстановления в виде системы алгебраических уравнений. Приводятся результаты вычислительных экспериментов, демонстрирующих работоспособность предложенного метода. Оценено соотношение между количеством собственных векторов, используемых для комбинации и длительностью восстанавливаемого отрезка.

Ключевые слова: сигнально-кодовые конструкции, электромагнитная совместимость

Для цитирования: Помазанов И.С., Жилияков Е.Г. 2023. Формирование сигнально-кодовых конструкций с возможностью восстановления искаженных фрагментов. Экономика. Информатика, 50(2): 448–455. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-448-455

Formation of Signal-Code Constructions with the Possibility of Restoring Distorted Fragments

¹ Ivan S. Pomazanov, ² Evgeniy G. Zhilyakov,

¹ Limited Liability Company Micro-credit company «Denezhnaya edinica»,
79 Narodny Boulevard, office 407, Belgorod, Russia, 308009

² Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

Abstract. This paper considers the problem of restoring distorted fragments of a signal-code construction (SCC) under the influence of external interference. It is demonstrated that such restoration is possible by forming signal-code constructions based on the basis of eigenvectors of sub-pulse matrices, which correspond to unit eigenvalues. Relationships for restoration in the form of a system of algebraic equations are derived. The computational experiment results are presented, demonstrating the effectiveness of the proposed method. The relationship between the number of eigenvectors used for combination and the duration of the restored segment is evaluated.

Keywords: signal-code constructions, electromagnetic compatibility

For citation: Pomazanov I.S., Zhilyakov E.G. 2023. Formation of Signal-Code Constructions with the Possibility of Restoring Distorted Fragments. Economics. Information technologies, 50(2): 448–455 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-448-455

Введение

Тенденцией настоящего времени является повышение интенсивности удаленного информационного обмена, связанного как с взаимодействием людей, так и наличием различного рода датчиков, фиксирующих различные процессы.

В качестве примера можно привести концепцию интернет вещей, когда данные передаются в произвольный момент времени. Это приводит к конкуренции за частотно-временные ресурсы каналов связи. В частности, могут возникнуть ситуации одновременной работы нескольких источников электромагнитного излучения, кроме того, в условиях городской застройки проявляется эффект многолучевого распространения. Всё это приводит к неконтролируемым искажениям канальных сигналов и ухудшению условий декодирования сигнально-кодовых конструкций. Поэтому актуальной является задача синтеза таких сигнально-кодовых конструкций, которые позволяют восстановить фрагменты, искаженные кратковременными воздействиями посторонних источников электромагнитного излучения. [Жежеленко и др., 2012; Ефанов, Тихомиров, 2012; Коржов, 2007; Малков, Пудовкин, 2007; Стукалов, 2019; Тимиргазин, 2017; Быховский, 2011]

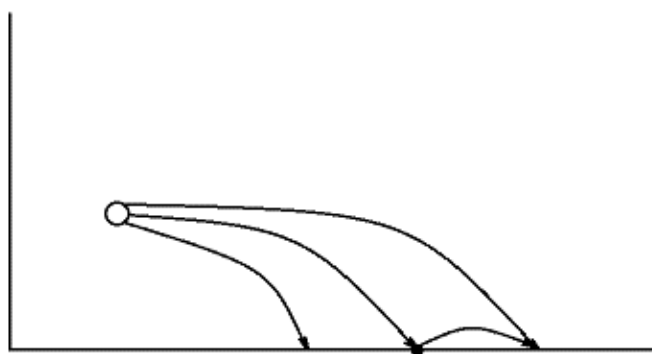


Рис. 1. Помеха в виде отражения в многолучевом распространении
Fig. 1. Interference in the form of reflection in multipath propagation

Субполосный синтез сигнально-кодовых конструкций

В дальнейшем предполагаем, что СКК формируются в виде вектора некоторой размерности N . Примером простейшей СКК при цифровой передаче информации служит вектор следующего вида

$$\vec{x} = e\vec{g}, \quad (1)$$

где $\vec{x} = (x_1, \dots, x_N)'$; $\vec{g} = (g_1, \dots, g_N)'$ – базисный вектор, штрих означает транспонирование;

$$e = \{-1, 1\}. \quad (2)$$

Передача данных предполагает использование некоторого частотного диапазона (субполосы) нормированной круговой частоты

$$V = [-V_2, -V_1) \cup [V_1, V_2), \quad (3)$$

так что для спектра Фурье СКК

$$X(z) = \sum_{k=1}^N x_k \exp(-jz(i-1)), \quad (4)$$

должно выполняться условие

$$1 - P_V(\vec{x}) / \|\vec{x}\|^2 \ll 1, \quad (5)$$

где с учетом соотношений (1) и (2) имеется в виду энергия ССК

$$\|\vec{x}\|^2 = \sum_{k=1}^N x_k^2 = \sum_{k=1}^N g_k^2; \quad (6)$$

и попадающая в субполосу (3) часть её энергии, которая определяется соотношением

$$P_V(\vec{x}) = \int_{z \in V} |X(z)|^2 dz / 2\pi = P_V(\vec{g}) = \int_{z \in V} |G(z)|^2 dz / 2\pi, \quad (7)$$

здесь $G(z)$ спектр Фурье вида (4) базисного вектора.

Таким образом, левая часть соотношения (5) определяет просачивание энергии ССК за пределы выделенной субполосы, что может служить мерой межканальной интерференции. Поэтому основным условием при синтезе ССК служит вариационное условие максимизации при заданной её размерности (длительности передачи) доли энергии, попадающей в заданную субполосу, которое с учетом (6) и (7) имеет вид

$$d = P_V(\vec{g}) / \|\vec{g}\|^2 = \max. \quad (8)$$

Для решения этой вариационной задачи в последнее слагаемое (7) подставим определение спектра Фурье вида (4) для базисного вектора. В результате (8) преобразуется к виду

$$d = \vec{g}' A_V \vec{g} / \|\vec{g}\|^2, \quad (9)$$

где $A_V = \{a_{ik}^V\}, i, k = 1, \dots, N$ – субполосная матрица, элементы которой определяются соотношениями

$$a_{ik}^V = \int_{z \in V} \exp(-j(i-k)z) dz / 2\pi. \quad (10)$$

После интегрирования с учетом симметрии субполосы нетрудно получить соотношения

$$a_{ii}^V = (V - V_1) / \pi, i = 1, \dots, N; \quad (11)$$

$$a_{ik}^V = (\sin(V_2(i-k)) - \sin(V_1(i-k))) / \pi(i-k), i \neq k. \quad (12)$$

Таким образом, субполосная матрица является теплицевой и в виду определения (7) положительно определенной. Поэтому она представима в следующем виде

$$A_V = Q_V L_V Q_V', \quad (13)$$

где L_V – диагональная матрица положительных собственных чисел

$$L_V = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_N), \quad (14)$$

которые предполагаются упорядоченными по убыванию

$$\lambda_{\max} = \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \lambda_N > 0, \quad (15)$$

а $Q_V = \{\vec{q}_1^V \dots \vec{q}_N^V\}$ – ортогональная матрица соответствующих собственных векторов

$$Q_V' Q_V = Q_V Q_V' = I = \text{diag}(1, \dots, 1), \quad (16)$$

и справедливо соотношение

$$A_V Q_V = Q_V L_V. \quad (17)$$

В соответствии с определением собственных векторов и чисел [Беллман, 1969] решением вариационной задачи (8) является вектор

$$\vec{g} = c \vec{q}_1^V, \quad (18)$$

где $c > 0$ положительный вещественный коэффициент пропорциональности, а отношение (9) равно максимальному собственному числу субполосной матрицы

$$d = \lambda_{\max}. \quad (19)$$

Таким образом, оптимальный в смысле требования (8) вектор определяется уравнением

$$\lambda_{\max} \vec{g} = A_V \vec{g}. \quad (20)$$

Пусть далее

$$\vec{g} = (\vec{g}_1', \vec{g}_2')', \quad (21)$$

где имеются в виду под векторы $\vec{g}_1' = (g_1, \dots, g_M)$; $\vec{g}_2' = (g_{M+1}, \dots, g_N)$.

Легко понять, что из уравнения (19) следует уравнение для первого подвектора

$$\lambda_{\max} \vec{g}_1 = A_{11}^V \vec{g}_1 + A_{12}^V \vec{g}_2, \quad (22)$$

где $A_{11}^V = \{a_{ik}^V\}, i, k = 1, \dots, M$; $A_{12}^V = \{a_{ik}^V\}, i = 1, \dots, M, k = M+1, \dots, N$.

Имея в виду единичную матрицу (16) соответствующей размерности, отсюда получаем систему линейных алгебраических уравнения (СЛАУ)

$$(\lambda_{\max} I - A_{11}^V) \vec{g}_1 = A_{12}^V \vec{g}_2. \quad (23)$$

Ясно, что если определитель матрицы в левой части не равен нулю

$$D = \det(\lambda_{\max} I - A_{11}^V) \neq 0, \quad (24)$$

то решение этой СЛАУ имеет следующий вид

$$\vec{g}_1 = B_M^V \vec{g}_2, \quad (25)$$

где

$$B_M^V = (\lambda_{\max} I - A_{11}^V)^{-1} A_{12}^V. \quad (26)$$

Таким образом, получено соотношение (25), которое определяет метод вычисления одного подвектора СКК по другой. Подобные соотношения можно получить и для других подвекторов. Иными словами, можно получить СЛАУ, позволяющие восстанавливать искаженные подвекторы (18) по остальным, которые предполагаются неискаженными.

Сопоставив соотношения (7), (8) и (19), нетрудно понять, что максимальное собственное число определяет долю энергии базисного вектора СКК (18), попадающей в заданную субполосу. В работе [Жилияков, 2015] показано, что максимальное собственное число

субполосной матрицы не превосходит единицы. Поэтому необходимо с достаточной точностью обеспечивать условие

$$\varepsilon = 1 - \lambda_{\max} \ll 1. \quad (27)$$

С другой стороны, необходимо принимать во внимание условие (24), чтобы соотношение восстановления (25) было справедливо. Ясно, что матрица A_{11}^V также является субполосной и меньшей размерности. Поэтому для нее справедливо представление вида (13), в котором в диагональную матрицу упорядоченных по убыванию собственных чисел обозначены в виде

$$F = \text{diag}(f_1, \dots, f_{N-1}). \quad (28)$$

В этих обозначениях определитель матрицы в (24) можно представить в виде следующего произведения

$$D = \prod_{k=1}^{N-1} (\lambda_{\max} - f_k). \quad (29)$$

Таким образом, гарантией выполнения условия неособенности (24) для матрицы (26) максимальное собственное число матрицы A_{11}^V должно удовлетворять неравенству

$$f_1 < \lambda_{\max}, \quad (30)$$

для её размерности вплоть до $N-1$, что позволяет восстанавливать подвектор $\vec{g}_1$ только по одному значению вектора СКК (18).

В работе [Жиляков, 2015] показано, что среди собственных чисел субполосной матрицы могут быть весьма близкие к единице. Их число определяется приближенно

$$J = [(V_2 - V_1)K / \pi] - 4, \quad (31)$$

в котором квадратные скобки означают целую часть числа, а K – размерность матрицы. Таким образом, при выполнении неравенства

$$K \leq 2\pi / (V_2 - V_1) \quad (32)$$

равных единице собственных чисел не будет

Пусть теперь размерность N исходной матрицы A_V удовлетворяет неравенству (32). Положим,

$$\vec{y} = (\vec{w}', 0)', \quad (33)$$

где $\vec{w}'$ – собственный вектор матрицы A_{11}^V размерности $N-1$, который соответствует максимальному собственному числу, так что справедливо соотношение

$$f_1 = \vec{w}' A_{11}^V \vec{w}. \quad (34)$$

Поэтому, с учетом определения этой матрицы, как углового квадратного блока матрицы A_V и определений (8) и (18), нетрудно показать справедливость неравенства

$$f_1 = \vec{y}' A_V \vec{y} < \lambda_{\max}. \quad (35)$$

Таким образом, условие (30) может быть выполнено.

Вычисления показывают, что выбор субполосы с границами

$$V_1 = 0; V_2 = 2\pi / N \quad (36)$$

позволяет выполнить неравенства (27) и (30). Этот вывод иллюстрируют данные приведенной ниже Таблицы 1.

Таблица 1
Table 1

Значения максимальных собственных чисел
Values of maximum eigenvalues

N	10	40	100	400
$\lambda_{\max}$	0,9823	0,9811	0,9811	0,9811
f_1	0,9695	0,9784	0,9800	0,9808

Как и следовало ожидать с ростом размерностей разница между максимальными собственными числами уменьшается.

Заметим, что матрицы вида (26) можно вычислить заранее на приемной стороне и затем использовать. Очевидно, что при выполнении равенства

$$M = N - 1, \quad (37)$$

когда

$$A_{12}^V = (a_{1N}^V, a_{2N}^V, \dots, a_{N-1,N}^V)' \quad (38)$$

матрица (26) тоже будет вектором-столбцом, который пропорционален части используемого собственного вектора

$$B_{N-1}^V = \bar{u} = (q_{11}^V, \dots, q_{N-1,1}^V)' / q_{N1}^V. \quad (39)$$

Отметим, что знаменатель в (39) гораздо меньше единицы, так как евклидова норма собственного вектора равна единице. Поэтому на результат восстановления будет сильно влиять наличие флуктуационных шумов канала связи.

Рассмотрим теперь случай формирования СКК в виде линейной комбинации собственных векторов, которые в виду (16) будут ортонормальными

$$\bar{x} = c \sum_{k=1}^K e_k \bar{q}_k, \quad (40)$$

где

$$e_k \in \{-1, 1\}, k = 1, \dots, K. \quad (41)$$

При этом предполагаем, что выбрано такое значение следа субполосной матрицы (содержимое в квадратных скобках (31)), обеспечивающее наличие K равных единиц собственных чисел, которым и соответствуют входящие в (40) собственные векторы. В Таблице 2 ниже приводятся примеры, показывающие достижимость этого требования. В этом примере в качестве границ субполосы использовались следующие значения

$$V_1 = 0; V_2 = \pi / 4. \quad (42)$$

Эти данные показывают, что таких векторов может быть довольно много, причем энергии векторов (40) будут практически полностью сосредоточены в субполосе (42).

Таблица 2
Table 2

Количество единичных собственных чисел и доля восстанавливаемых компонент ССК
The number of unit eigenvalues and the fraction of the recoverable component of the SSC

N	16	40	100	400	800
Значение следа матрицы	4	10	25	100	200
Количество единичных собственных чисел K	1	6	20	94	192
Процент восстанавливаемых значений p	50	20	8	2	1

Кроме того, вектор (4) будет также собственным вектором субполосных матриц с элементами вида (11), (12), которым соответствует собственное единичное число

$$\vec{x} = A_V \vec{x}. \quad (43)$$

При этом уравнение восстановления (23) принимает вид

$$(I - A_{11}^V) \vec{x}_1 = A_{12}^V \vec{x}_2, \quad (44)$$

где

$$\vec{x}_1 = (x_1, \dots, x_M)' ; \vec{x}_2 = (x_{M+1}, \dots, x_N)' . \quad (45)$$

Возникает необходимость определить допустимую размерность подматрицы A_{11}^V , когда матрица в левой части (44) будет неособенной. Приближенную оценку снизу можно получить из соотношения

$$2\pi / M = V_2, \quad (45)$$

если принять во внимание соотношение (36) и данные Таблицы 1.

Отсюда получаем соотношение

$$M = 2\pi / V_2, \quad (46)$$

которые в соответствии с (42) дает

$$M = 8. \quad (47)$$

Это значение использовано при заполнении третьей строки Таблицы 2 при вычислении процента восстанавливаемых компонентов вектора ССК, как отношения

$$p = 100M / N. \quad (48)$$

Заключение

Разработан метод формирования сигнально- кодовых конструкций для цифровой передачи информации, который позволяет восстанавливать их искаженные фрагменты по неискаженным. Показано, что для этого целесообразно использовать собственные векторы субполосных матриц, которые также гарантируют полное попадание энергии ССК в заданном частотном интервале (субполосе). Получены уравнения восстановления и установлены условия его разрешимости в виде соотношения для размерности фрагментов, доступных для восстановления.

Список литературы

Беллман Р. 1969. Введение в теорию матриц. М.: Наука, 375 с.

- Быховский М.А. 2011. Оптимальная линейная коррекция многолучевого канала связи при разнесенном приеме сигналов. *Электросвязь*. 12: 36–41.
- Ефанов В.И., Тихомиров А.А. 2012. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем. Учебное пособие. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 228 с.
- Жежеленко И.В., Шидловский А.К., Пивняк Г.Г. и др. 2012. Электромагнитная совместимость потребителей. Монография. М., Машиностроение, 351 с.
- Жиляков Е.Г. 2015. Оптимальные субполосные методы анализа и синтеза сигналов конечной длительности, Автомат. и телемех. 4: 51–66.
- Коржов А.В. 2007. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. Учебное пособие для самостоятельной работы студентов. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 70 с.
- Малков Н.А., Пудовкин А.П. 2007. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 88 с.
- Стукалов С.Б. 2019. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных систем. Учебное пособие. Воронеж: ООО «МИР», 64 с.
- Тимиргазин Р.Ф. 2017. Электромагнитная совместимость. Учебное пособие. Ульянов. гос. техн. ун-т. Ульяновск: УлГТУ, 48 с.

References

- Bellman R. 1969. Vvedeniye v teoriyu matrits [Introduction to Matrix Theory]. M.: Nauka, 375 p.
- Byhovskij M.A. 2011. Optimal'naya lineynaya korrektsiya mnogoluchevogo kanala svyazi pri raznesennom priyeme signalov [Optimal linear correction of a multipath communication channel with a spaced signal reception]. *Elektrosvyaz'*. 12: 36–41.
- Efanov V.I., Tikhomirov A.A. 2012. Elektromagnitnaya sovmestimost' radioelektronnykh sredstv i sistem. Uchebnoye posobiye [Electromagnetic compatibility of radio-electronic means and systems. Textbook]. Tomsk: Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, 228 p.
- ZHezhelenko I.V., SHidlovskij A.K., Pivnyak G.G. et al. 2012. Elektromagnitnaya sovmestimost' potrebiteley. Monografiya [Electromagnetic compatibility of consumers]. M.: Mashinostroyeniye, 351 p.
- Zhilyakov E.G. 2015. Optimal sub-band methods for analysis and synthesis of finite-duration signals. *Automation and Remote Control*. 76(4): 589–602.
- Korzhov A.V. 2007. Elektromagnitnaya sovmestimost' v elektroenergetike. Uchebnoye posobiye dlya samostoyatel'noy raboty studentov [Electromagnetic compatibility in the electric power industry. A textbook for independent work of students]. Chelyabinsk: publisher YUUrGU, 70 p.
- Malkov N.A., Pudovkin A.P. 2007. Elektromagnitnaya sovmestimost' radioelektronnykh sredstv. Ucheb. posobiye [Electromagnetic compatibility of radio-electronic means. Study guide]. Tambov, 88 p.
- Stukalov S.B. 2019. Elektromagnitnaya sovmestimost' radioelektronnykh sistem. Uchebnoye posobiye [Electromagnetic compatibility of radio-electronic systems. Study guide]. Voronezh: ООО «МИР», 64 p.
- Timirgazin R.F. 2017. Elektromagnitnaya sovmestimost'. Uchebnoye posobiye [Electromagnetic compatibility. Study guide]. Ulyanovsk: UIGTU, 48 p.

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

Помазанов Иван Сергеевич, инженер технической поддержки корпоративных информационных систем (КИС). Общество с ограниченной ответственностью Микрокредитной компании «Денежная единица», г. Белгород, Россия

Жиляков Евгений Георгиевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivan S. Pomazanov, technical support engineer for corporate information systems (CIS). A limited liability company of a Micro-credit company «Denezhnaya edinica», Belgorod, Russia

Evgeniy G. Zhilyakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

УДК 621.391

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-456-464

О помехоустойчивости инфокоммуникационных систем при использовании кодового перемежения

¹ Белов С.П., ² Коркин А.А., ¹ Белов А.С., ³ Орехов А.О.

¹ Белгородский университет кооперации, экономики и права,
Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, 116а

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

³ Диамэг Россия

Россия, 308015, г. Белгород, 5^{ый} заводской переулок, 30

E-mail: belovssergei@gmail.com, 1319392@bsu.edu.ru, belov_as@bsu.edu.ru, Orekhovip@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты вычислительных экспериментов по оценке помехоустойчивости инфокоммуникационных систем декаметрового диапазона при использовании в качестве переносчиков информации в указанных системах сигнально-кодовых конструкций, созданных на основе применения метода антифедингового кодирования. Применение такого класса сигналов, как показали проведенные исследования, позволяет существенно повысить достоверность принимаемой информации, передаваемой по каналу связи при наличии в нем быстрых и медленных замираний. Актуальность таких исследований обусловлена существенным увеличением реализации удаленного взаимодействия между территориально распределенными абонентами с применением декаметровых инфокоммуникационных систем.

Ключевые слова: инфокоммуникационные системы декаметрового диапазона; антифединговый метод, помехоустойчивые коды

Для цитирования: Белов С.П., Коркин А.А., Белов А.С., Орехов А.О. 2023. О помехоустойчивости инфокоммуникационных систем при использовании кодового перемежения. Экономика. Информатика. 50(2): 456–464. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-456-464

On the Noise Immunity of Infocommunication Systems when Using Code Interleaving

¹ Sergey P. Belov, ² Anton A. Korkin, ¹ A Alexander S. Belov, ³ Andrey O. Orekhov

¹ Belgorod University of Cooperation, Economics and Law,
116a Sadovaya St, Belgorod, 308023, Russia

² Belgorod State National Research University
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

³ Diamag Russia

30 5th factory lane, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: belovssergei@gmail.com, 1319392@bsu.edu.ru, belov_as@bsu.edu.ru, Orekhovip@yandex.ru

Abstract. At present, due to the intensive development of the territories of the Arctic latitudes, the need for the use of decameter infocommunication systems for the implementation of remote information interaction between geographically distributed subscribers in these latitudes has increased significantly, since their use allows it to be implemented over distances exceeding thousands, and sometimes even tens of thousands of kilometers. However, the effectiveness of using this class of infocommunication systems largely depends on the level of fast and slow fading that occurs in the information transmission channel and significantly reduces the noise immunity of its reception. In this regard, it seems relevant to search for methods that provide an increase in the noise immunity of information during its transmission in these systems and conduct research on their effectiveness.

Keywords: infocommunication systems of decameter communication; anti-fading method, noise-immune codes

For citation: Belov S.P., Korkin A.A., Belov A.S., Orekhov A.O. 2023. On the Noise Immunity of Infocommunication Systems when Using Code Interleaving. Economics. Information technologies. 50(2): 456–464 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-456-464

Введение

Современный этап развития общества характеризуется непрерывным увеличением удаленного взаимодействия между абонентами и запросами пользователей о предоставлении различного вида мультисервисных услуг с требуемым качеством независимо от места их нахождения, который в настоящее время в основном реализуется на основе систем беспроводной связи, одним из видов которых являются инфокоммуникационные системы декаметрового диапазона [Головин, Простов 2006; Лузан, Хмырова 2008; Рябов, Головченко, Савельев 2010; Березовский, Дулькейт, Савицкий 2011; Шадрин, Зачатейский, Дворянчиков 2018]. Значимость этих систем для передачи информации существенно возросла после принятия соответствующих решений по освоению территорий Арктических широт [Электронный ресурс], так как указанный вид беспроводных инфокоммуникаций позволяет осуществлять реализацию удаленного взаимодействия между территориально распределенными абонентами на расстояния, превышающие тысячи, а иногда и десятки тысяч километров [Антонюк Л.Я, Игнатов 1994; Шадрин, Зачатейский, Дворянчиков 2018]. Такая возможность возникает благодаря отражению электромагнитных волн, излучаемых радиопередающими устройствами инфокоммуникационных систем декаметрового диапазона от множественных слоев ионосферы с различной величиной электронной концентрации. Однако при этом возникают явления быстрых и медленных замираний передаваемых радиосигналов, что приводит к возникновению на приемной стороне помех различного вида [Исакевич 1976; Антонюк, Игнатов 1994].

Для минимизации влияния этих процессов на помехоустойчивость передаваемой информации существует ряд методов [Коржик, Финк 1975; Кларк, Кейн 1987; Лосев, Бердников, Гойхман, Сизов 1988; Дронов 2004; Рябов, Головченко, Савельев 2010; Полушин, Ульянова, Синицин 2010; Баринов, Асеев 2017; Баринов 2018; Шадрин, Зачатейский, Дворянчиков 2018]. Необходимо отметить, что с учетом специфики замираний, средняя продолжительность которых в существующих каналах декаметрового диапазона часто значительно превышает длительность информационного элемента [Исакевич, 1976.], представляется целесообразным для повышения помехоустойчивости передаваемой информации использовать метод антифедингового кодирования [Дронов, Шадчнев, Романовский 2001].

Для получения количественных оценок изменения вероятности ошибки передаваемой информации инфокоммуникационными системами при использовании в качестве её переносчика канальных сигналов с различными видами помехоустойчивого кодирования, а также антифедингового метода были проведены вычислительные эксперименты с применением программного обеспечения LabVIEW 2016 разработанного компанией National Instruments и среды графического программирования «Simulink». Результаты вычислительных экспериментов с представлением численных значений вероятности ошибки представлены ниже.

Основная часть

Для формирования вектора ошибок был написан код, представленный на рисунке 1. Данный вектор используется в модели для симуляции пакетов ошибок. Длина блоков ошибок является изменяемым параметром. Расстояние между двумя соседними блоками ошибок является случайным целым числом от 1 до N с равномерным распределением. Общее число сравниваемых бит рано десяти тысячам.

```
1 –   clc
2 –   clear all
3 –   errors=zeros(1,10^4);
4 –   n=1;
5 –   while n<10^4-300
6 –       n=n+floor(300*rand(1))+3;
7 –       errors(n:n+2)=[1 1 1];
8 –   end
```

Рис. 1. Код для формирования вектора ошибок
Fig. 1. Code for the formation of the error vector

В следующем эксперименте сравнивается помехоустойчивость инфокоммуникационных систем с блочным и псевдослучайным перемежением с применением созданных сконфигурированных моделей, представленных на рисунках 2-3.

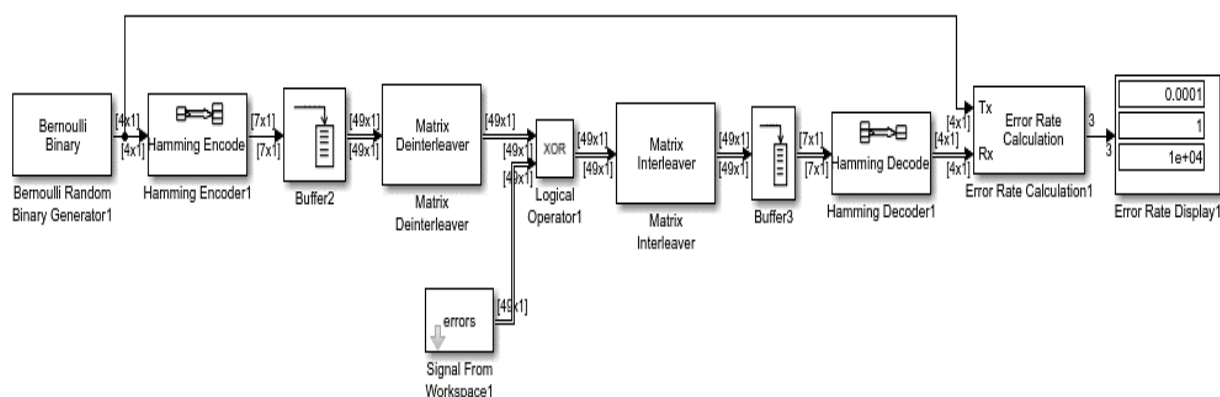


Рис. 2. Модель системы с кодом Хемминга (7, 4) и блочным перемежением
Fig. 2. System model with Hamming code (7, 4) and block interleaving

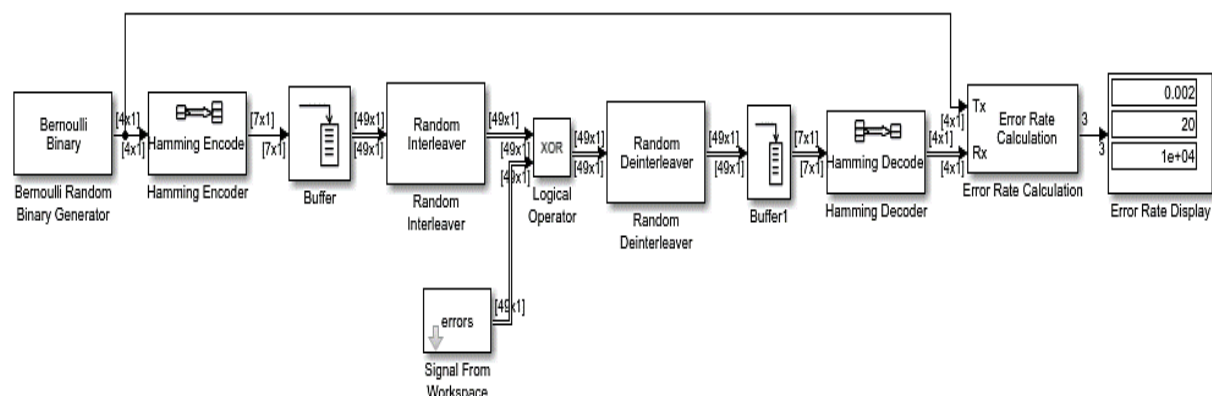


Рис. 3. Модель системы с кодом Хемминга (7, 4) и псевдослучайным перемежением
Fig. 3. System model with Hamming code (7, 4) and pseudo-random interleaving

Результаты, полученные в ходе проведения вычислительных экспериментов, представлены в Таблице 1.

Таблица 1
Table 1

Результаты вычислительных экспериментов
Results of computational experiments

Длина блока ошибок	Вероятность ошибки	
	Блочное	Псевдослучайное
2	0.0003	0.0007
3	0.0007	0.0025
4	0.0019	0.0059
5	0.0023	0.0092
6	0.0035	0.0132
7	0.0041	0.0185
8	0.0087	0.0227

Окончание табл. 1
End table 1

Длина блока ошибок	Вероятность ошибки	
	Блочное	Псевдослучайное
9	0.0119	0.0213
10	0.0156	0.0243

При анализе результатов, полученных в процессе проведения вычислительных экспериментов, можно заметить, что блочное перемежение при всех использованных длинах блока ошибок показало результаты лучше, чем псевдослучайное перемежение.

Для исследования зависимости вероятности ошибки в инфокоммуникационной системе от длины блока ошибок, от вида помехоустойчивого кода и использования перемежения, в среде графического программирования «Simulink» были построены 4 схемы, представленные на рисунках 4-7.

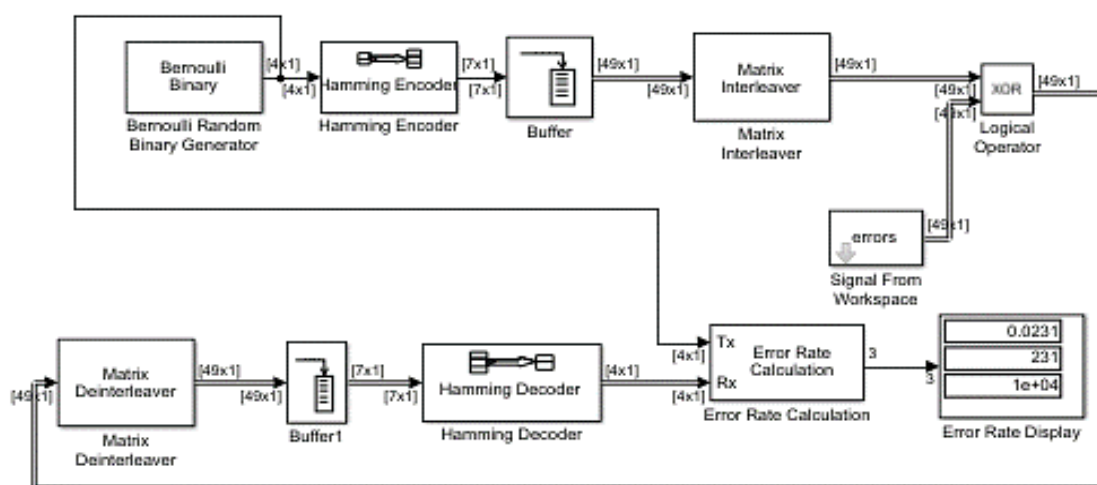


Рис. 4. Модель для вычисления вероятности ошибки при использовании кода Хемминга (7, 4) и перемежения
Fig. 4. Model for calculating the error probability when using the Hamming code (7, 4) and interleaving

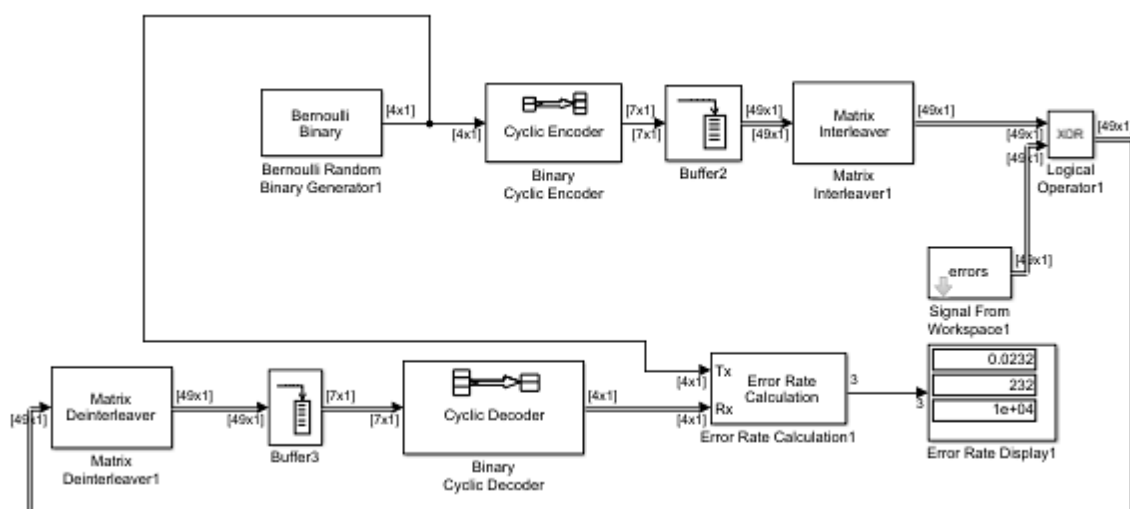


Рис. 5. Модель для вычисления вероятности ошибки при использовании циклического (7, 4) кода и перемежения
Fig. 5. Model for calculating the error probability when using a cyclic (7, 4) code and interleaving

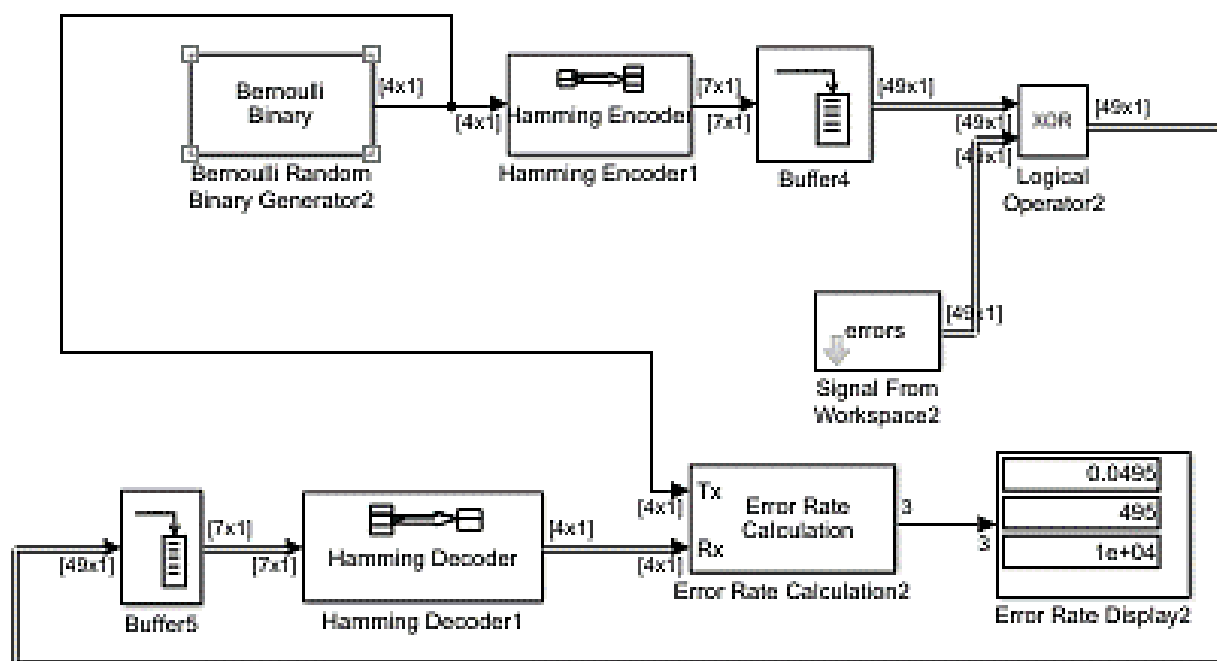


Рис. 6. Модель для вычисления вероятности ошибки при использовании кода Хемминга (7, 4) без перемежения
Fig. 6. Model for calculating the error probability when using the Hamming code (7, 4) without interleaving

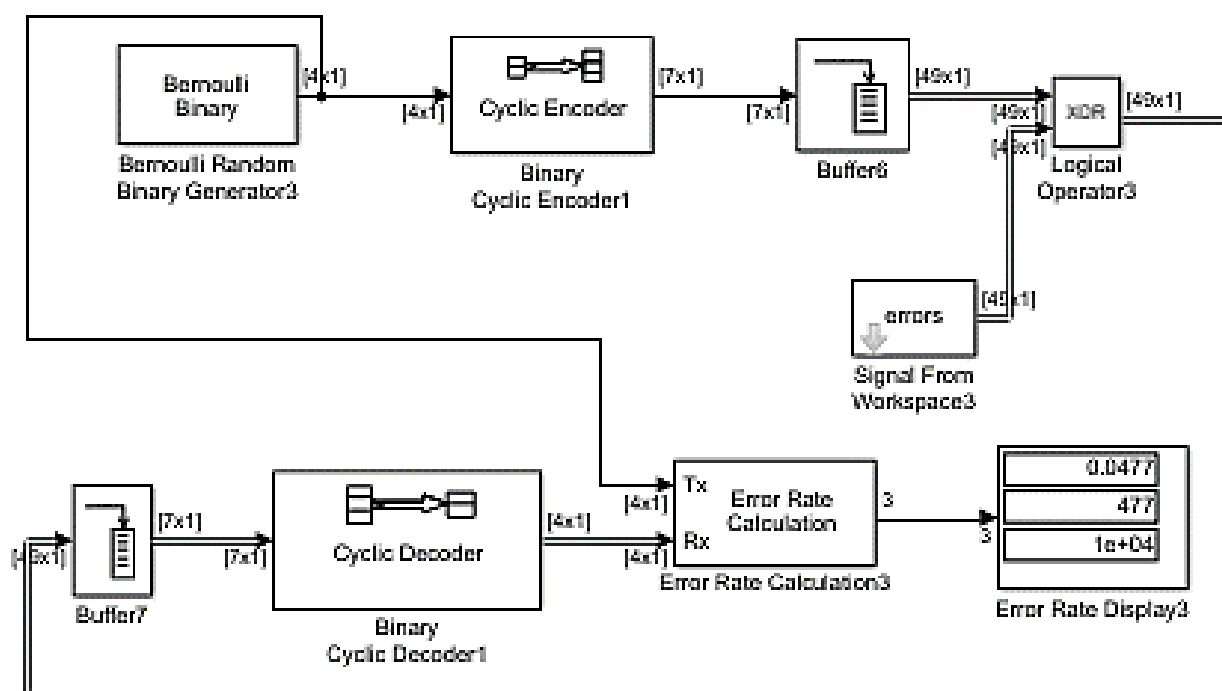


Рис. 7. Модель для вычисления вероятности ошибки при использовании циклического (7, 4) кода без перемежения
Fig. 7. Model for calculating the error probability when using a cyclic (7, 4) code without interleaving

Данные, полученные в ходе выполнения вычислительного эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2
Table 2

Результаты вычислительных экспериментов
Results of computational experiments

Длина блока ошибок	Отношение числа ошибок в векторе к общему числу бит	Вероятность ошибки			
		Хемминга (7, 4) без перемежения	Хемминга (7, 4) с перемежением	Циклический (7, 4) без перемежения	Циклический (7, 4) с перемежением
1	0.0062	0	0	0	0
2	0.0136	0.0106	0.0002	0.0100	0.0002
3	0.0189	0.0142	0.0004	0.0157	0.0005
4	0.026	0.0135	0.0023	0.0161	0.0021
5	0.033	0.0173	0.004	0.0180	0.0038
6	0.0354	0.0225	0.0052	0.0235	0.0053
7	0.042	0.0236	0.0078	0.0236	0.008
8	0.0488	0.0267	0.0104	0.0270	0.0104
9	0.0562	0.0282	0.0205	0.0277	0.0183
10	0.059	0.0325	0.0297	0.0329	0.0279
11	0.0627	0.0376	0.036	0.0367	0.035
12	0.0672	0.0426	0.0447	0.0422	0.0457
13	0.0715	0.041	0.0482	0.0415	0.0408
14	0.0784	0.0429	0.0496	0.0424	0.0486
15	0.084	0.0488	0.0632	0.0489	0.0549

График зависимости вероятности ошибки от длины блока ошибок для различных методов помехоустойчивого кодирования представлены на рисунке 8.

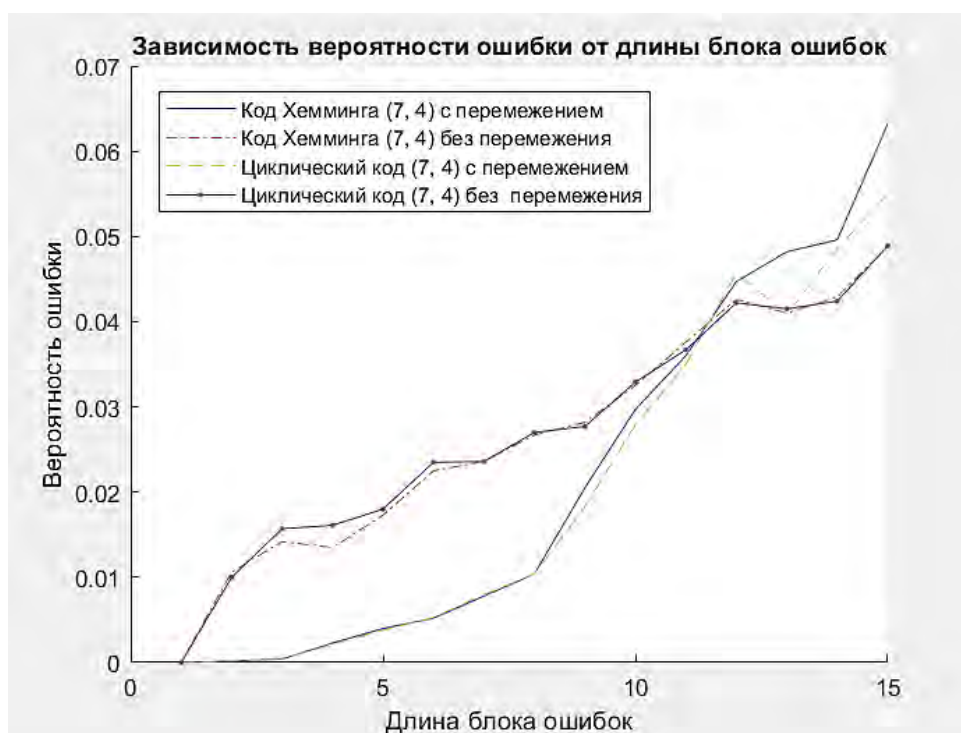


Рис. 8. Зависимость вероятности ошибки от длины блока ошибок для различных методов помехоустойчивого кодирования
Fig. 8. Dependence of the error probability on the length of the error block for various methods of error-correcting coding

Заключение

Таким образом, в результате проведенных вычислительных экспериментов было показано, что использование блочного перемежения в совокупности с помехоустойчивыми кодами увеличивает помехоустойчивость инфокоммуникационных систем в значительной степени по сравнению с инфокоммуникационными системами, не использующими перемежение. При этом большого различия между вероятностью ошибки при применении кода Хемминга и циклического кода, при одинаковой длине кодовой комбинации, не обнаружено.

Список литературы

- Антонюк Л.Я., Игнатов В.В. 1994. Эффективность радиосвязи и методы ее оценки; СПб.: ВАС. 124 с.
- Баринов А.Ю. 2018. Идентификация перемежителей турбокодов на основе их полиномиального и матричного представления. *Информация и Космос* № 2 61–66.
- Баринов А.Ю., Асеев А.Ю. 2017 Модифицированная математическая модель системы генерирования перемеженной дискретной последовательности турбоподобного кода. *Вестник Череповецкого государственного университета*. 6(81): 9–18. DOI 10.23859/1994-0637-2017-6-81-1
- Березовский В.А., Дулькейт В.А., Савицкий О.К. 2011. Современная декаметровая радиосвязь; М.: Радиотехника. 444 с.
- Блейхут Р.Э. 1984. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки; пер. с англ. под редакцией К.Ш. Зигангирова. М.: Мир. 576 с.
- Вернер М. 2004. Основы кодирования; пер. с нем. под редакцией Д.К. Зигангирова. М.: Техносфера, 288 с.
- Витерби А.Д., Омура Дж.К. 1982. Принципы цифровой связи и кодирования; пер. с англ. под редакцией К.Ш. Зигангирова. М.: Радио и связь, 536 с.
- Головин О.В., Простов С.П. 2006. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи; М.: Горячая линия – Телеком. 598 с.
- Дронов А.Е. 2004. Особенности построения устройств перемежения в системах радиосвязи. Депонировано в ЦНТИ «Информсвязь» №2249 от 04.07.04г., 21-26.
- Дронов А.Е., Шадчнев В.Я., Романовский В.Т. 2001. Способы перемежения при помехоустойчивом кодировании. Перспективные направления развития цифровых систем передачи информации: сборник статей. М.: ГУ НПО "Специальная техника и связь" МВД России. 91-98.
- Исакевич, В.В. 1976. О параметрах быстрых замираний дальнего тропосферного распространения радиоволн. Повышение эффективности и надёжности РЭС. *Межвуз. сб. науч. трудов. Л., ЛЭТИ. вып. 6.* 37-44.
- Касами Т., Токура И., Ивадари Е. 1978. Теория кодирования; пер. с япон. под редакцией С.И. Гельфанда и Б.С. Цыбакова. М.: Мир, 576 с.
- Кларк Дж. мл., Кейн Дж. 1987. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи; пер. с англ. под редакцией Б.С. Цыбакова. М.: Радио и связь, 392 с.
- Коржик В.И., Финк Л.М. 1975. Помехоустойчивое кодирование дискретных сообщений в каналах со случайной структурой; М.: Связь, 272 с.
- Кудряшов Б.Д. 2016. Основы теории кодирования; СПб.: БХВ-Петербург, 400 с.
- Лосев Ю.И., Бердников А.Г., Гойхман Э.Ш., Сизов Б.Д. 1988. Адаптивная компенсация помех в каналах связи. М.: Радио и связь, 208 с.
- Лузан, Ю.С., Хмырова Н.П. 2008. Адаптивная радиосвязь в ДКМ диапазоне частот. Современное состояние и перспективы развития. *Техника радиосвязи*, 13: 3-24
- Морелос-Сарагоса Р. 2006. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применения; пер. с англ. под редакцией В. Б. Афанасьева. М.: Техносфера, 320 с.
- Питерсон У. 1976. Коды, исправляющие ошибки; пер. с англ. под редакцией Р.Д. Добрушина и С.И. Самойленко. М.: Мир, 593 с.
- Полушин П.А. 2013. Адаптация алгоритма сверточного кодирования при замираниях сигналов. Перспективные технологии в средствах передачи информации: материалы X МНТК. Владимир. 134-136.
- Полушин П.А., Ульянова Е.В., Синицин Д.В. 2010. Матричный алгоритм оценки параметров канала при межсимвольной интерференции. *Проектирование и технология электронных средств*. 4: 35-38.
- Рябов А.В., Головченко Е.В., Савельев М.А. 2010. Управление мощностью передающих устройств автоматизированных линий декаметровой радиосвязи; Воронеж: ВАИУ. 140 с.

- Скляр Б. 2003. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение; пер. с англ. под редакцией А.В. Назаренко. М.: Изд. Дом - «Вильямс», 1104 с.
- Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации до 2020 года. [Электронный ресурс]. URL: https://m.inet.gov-murmansk.ru/activities/strat_plan/arkticzone/
- Шадрин Б.Г., Зачатыйский Д.Е., Дворянчиков В.А. 2018. Повышение помехоустойчивости передачи данных в ведомственных сетях связи декаметрового диапазона. Техника радиосвязи. 1(36): 7-19.

References

- Antonjuk L.Ja., Ignatov V.V. 1994. Effektivnost' radiosvyazi i metody ee otsenki [Efficiency and Methods for its Evaluation] S.Pb.: VAS. 124 p.
- Barinov A.Y. 2018. Identification of turbo code interleavers, depending on their polynomial and matrix representation. Informacija i Kosmos № 2 (8) 61–66. (in Russian)
- Barinov A.Y., Aseev A.Y. 2017. Modified mathematical model of system generating turbo-like interleaved discrete code sequence. Cherepovets state university bulletin. 6(81): 9-18. DOI 10.23859/1994-0637-2017-6-81-1 (in Russian)
- Berezovskiy V.A., Dul'keyt V.A., Savitskiy O.K. 2011. Sovremennaya dekametrovaya radiosvyaz' [Modern decameter radio communication]. M.: Radiotekhnika. 444 p.
- Bleijhut R.E. 1984. Theory and practice of error control codes [Theory and practice of error codes]. per. s angl. pod redakciej K.Sh. Zigangirova. M.: Mir. 576 p.
- Verner M. 2004. Information and Coding [Fundamentals of Coding] per. s nem. pod redakciej D.K. Zigangirova. M.: Tehnosfera, 288 p.
- Viterbi A.J., Omura J.K. 1982. Principles of Digital Communication and Coding [Principles of digital communication and coding] per. s angl. pod redakciej K.Sh. Zigangirova. M.: Radio i svjaz', 536 p.
- Golovin O.V., Prostov S.P. 2006. Sistemy i ustroystva korotkovolnovoy radiosvyazi [Systems and devices of short-wave radio communication]. M.: Goryachaya liniya – Telekom. 598 p.
- Dronov A.E. 2004. Osobennosti postroeniya ustroystv peremezheniya v sistemakh radiosvyazi [Features of the construction of interleaving devices in radio communication systems]. CNTI «Informsvjaz» №2249 ot 04.07.04, 21-26.
- Dronov A.E., Shadchnev V.Ja., Romanovskij V.T. 2001. Sposoby peremezheniya pri Pomekhoustoychivoe kodirovanii. Perspektivnye napravleniya razvitiya tsifrovyykh sistem peredachi informatsii [Interleaving methods for error-correcting coding. Perspective directions of development of digital information transmission systems: collection of articles]. M.: GU NPO "Special'naja tehnika i svjaz'" MVD Rossii. 91-98.
- Isakevich, V.V. 1976. O parametrakh bystrykh zamiraniy dal'nego troposfernogo rasprostraneniya radiovoln [On the parameters of fast fading of long-range tropospheric propagation of radio waves] Povyshenie jeffektivnosti i nadjozhnosti RJeS [Improving the efficiency and reliability of RES]. L., LJeTI. 6: 37-44.
- Kasami T., Tokura I., Iwadari E. 1978. Teorija kodirovaniya [Coding theory]; per. s japan. pod redakciej S.I. Gel'fanda i B.S. Cybakova. M.: Mir, 576 p.
- Klark J. Jr., Cain J. 1987. Error-Correction Coding for Digital Communications [Error Correction Coding in Digital Communication Systems]; per. s angl. pod redakciej B.S. Cybakova. M.: Radio i svjaz', 392 p.
- Korzhik V.I., Fink L.M. 1975. Pomekhoustoychivoe kodirovanie diskretnykh soobshcheniy v kanalakh so sluchaynoy strukturoy [Noise-immune coding of discrete messages in channels with a random structure]; M.: Svjaz', 272 p. (in Russian)
- Kudrjashov B.D. 2016. Osnovy teorii kodirovaniya [Fundamentals of coding theory] SPb.: BHV-Peterburg, 400 p.
- Losev Ju.I., Berdnikov A.G., Gojzman Je.Sh., Sizov B.D. 1988. Adaptivnaya kompensatsiya pomekh v kanalakh svyazi. [Adaptive radio communication in the DKM frequency range] M.: Radio i svjaz', 208 p.
- Luzan Ju.S., Hmyrova N.P. 2008. Adaptivnaya radiosvyaz' v DKM diapazone chastot. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya [Adaptive radio communication in the DKM frequency range] Tehnika radiosvyazi [Radio communication technology], 13: 3-24
- Morelos-Zaragoza R. 2006. The Art of Error Correcting Coding [The art of error-correcting coding. Methods, algorithms, applications]; per. s angl. pod redakciej V.B. Afanas'eva. M.: Tehnosfera, 320 p.
- Piterson W. 1976. Kody, Error-correcting Codes [Error-correcting codes]; per. s angl. pod redakciej R.D. Dobrushina i S.I. Samojlenko. M.: Mir, 593 p.
- Polushin P.A. 2013. Adaptacija algoritma svertochnogo kodirovaniya pri zamiraniyah signalov. [Adaptation of the convolutional coding algorithm for signal fading]. Perspektivnye tehnologii v sredstvakh peredachi informatsii: materialy X MNTK [Promising technologies in information transmission media: materials of the X MNTK]. Vladimir. 134-136.
- Polushin P.A., Ul'janova E.V., Sinicin D.V. 2010. Matrichnyj algoritm ocenki parametrov kanala pri



- mezhsimvol'noj interferencii [Matrix Algorithm for Estimating Channel Parameters in Inter-Symbol Interferenc]. *Proektirovanie i tehnologija jelektronnyh sredstv* [Design and technology of electronic means]. 4: 35-38.
- Rjabov A.V., Golovchenko E.V., Savel'ev M.A. 2010. Upravlenie moshhnost'ju peredajushhih ustrojstv avtomatizirovannyh linij dekametrovoj radiosvjazi [Power control of transmitters of automated decameter radio communication lines]; Voronezh: VAIU. 140 p.
- Sklar B. 2003. Digital Communications. Fundamentals and Applications [Theoretical foundations and practical application]; per. s angl. pod redakciej A.V. Nazarenko. M.: Izd. Dom - «Vil'jams», 1104 p.
- Strategiya razvitiya Arkticheskoy zony` Rossijskoj Federacii do 2020 goda. [Strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation until 2020] [E`lektronny`j resurs]. URL: https://minrec.gov-murm.ru/activities/strat_plan/arkticzone/
- Shadrin B.G., Zachatejskij D.E., Dvorjanchikov V.A. 2018. Povyshenie pomehoustojchivosti peredachi dannyh v vedomstvennyh setjah svjazi dekametrovogo diapazona [Improving the noise immunity of data transmission in departmental communication networks of the decameter range]. *Tehnika radiosvjazi* [Radio communication technology]. 1(36): 7-19.

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

Белов Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационной безопасности Белгородского университета кооперации, экономики и права г. Белгород, Россия

Коркин Антон Алексеевич, магистрант кафедры информационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Белов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационной безопасности Белгородского университета кооперации, экономики и права г. Белгород, Россия

Орехов Андрей Олегович, инженер-программист, ООО «Диамг», г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey P. Belov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Security of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Anton A. Korkin, Master student of the Department of Information Systems and Technologies Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Alexander S. Belov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Security of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Andrey O. Orekhov, Software engineer, Diamag LLC, Belgorod, Russia

УДК 623.76

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-465-475

Методы обработки информации при построении высокопроизводительных аппаратных систем на основе распараллеливания потоков передаваемых данных

¹ Ширяев А.А., ² Кукушкин С.С., ³ Олейник И.И.

¹ Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,
Россия, 141070, г. Королёв, ул. Пионерская, д. 4

² Научно-исследовательский институт космических систем имени А.А. Максимова - филиал акционерного общества «Государственный космический центр имени М.В. Хруничева»,
Россия, 141092, г. Королёв, ул. Тихонравова, д. 27, мкр. Юбилейный

³ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

E-mail: a.shyriaev@mail.ru, adaptermetod@mail.ru, oleinik_i@bsu.edu.ru

Аннотация. Проблема построения высокопроизводительных аппаратных систем и систем обработки поступающей информации приобретает особую актуальность при создании новой перспективной ракетно-космической, военной и специальной техники (ВСТ) с высоким уровнем искусственного интеллекта, функционирующей в условиях помех различного происхождения. Основу разработки новых технологий составляют математические конструктивные теории и методы нового более высокого уровня по сравнению с теми, что используются в настоящее время. Статья посвящена разработке новых методов, ориентированных на распараллеливание потоков передаваемых сообщений на основе нетрадиционного представления данных образами-остатками. Показано, что такая технология способствует повышению оперативности вычислений, обеспечению помехоустойчивости и контролю достоверности получаемых данных в системе остаточных классов (СОК). Отличительная особенность разработанных инновационных технологий заключается в возможности их реализации программными методами путем дополнительного перепрограммирования ПЛИС, микроконтроллеров и микропроцессоров, используемых в ВСТ нового поколения. В результате появляется возможность существенного повышения помехоустойчивости беспроводных информационных коммуникаций и каналов связи, а также производительности существующих систем представления, передачи и обработки информации.

Ключевые слова: передача информации в условиях помех, дополнительное кодирование замещающим троичным кодом, ограничения и возможности существующих информационных технологий, информационная безопасность и помехоустойчивость беспроводных информационных коммуникаций и инфотелекоммуникационных систем

Для цитирования: Ширяев А.А., Кукушкин С.С., Олейник И.И. 2023. Методы обработки информации при построении высокопроизводительных аппаратных систем на основе распараллеливания потоков передаваемых данных. Экономика. Информатика, 50 (2): 465–475. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-465-475

Information Processing in the Construction of High-Performance Hardware Systems Based on Parallelization of Transmitted Data Streams

¹ Alexey A. Shiryayev, ² Sergey S. Kukushkin, ³ Ivan I. Oleinik

¹ Joint Stock Company "Central Research Institute of Machine Building",
4 Pionerskaya St, Korolev, 141070, Russia

² Research Institute of Space Systems named after A.A. Maksimov - filial of the Joint-Stock Company "State Space Center named after M.V. Khrunichev",
27 Tikhonravova St, , md. Jubilee, Korolev, 141092, Russia

³ Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: a.shyriaev@mail.ru, adaptermetod@mail.ru, oleinik_i@bsu.edu.ru

Abstract. The problem of building high-performance hardware systems and systems for processing incoming information is becoming particularly relevant due to the need to create promising rocket and

space technology with a high level of artificial intelligence. The article is devoted to the development of new unconventional methods for building high-performance hardware systems using parallelization of transmitted data streams and their processing processes. It is shown that they should be problem-oriented, allowing to take into account the specific features of different areas of their application, the increasing level of threats to the information security of the successful functioning of the VST in various conditions, including interference of various origin. It is becoming more and more difficult to come up with them, so the basis for their synthesis should be mathematical methods of a new higher level compared to those that are known and used at the present time. The report examines the main provisions of one of the most promising proposals related to the construction of high-performance hardware systems using parallelization of data streams and their processing processes, the basis of which is the developed constructive mathematical theories. The possibilities of mathematical methods replacing them are demonstrated. In relation to high-speed telecommunication systems (TCS) they are focused on parallelizing the streams of transmitted messages and their processing processes based on an unconventional representation of data by residual images. This technology also forms the basis for improving the efficiency of calculations and monitoring the reliability of the data obtained in the system of residual classes (SOC). A distinctive feature of the developed innovative technologies lies in the possibility of their implementation by program methods based on additional reprogramming of FPGAs, micro-controllers and microprocessors that form the basis for building new-generation VST products. The result of this is the possibility of a significant increase in the performance of existing hardware, systems for the presentation, transmission and processing of the received measurement information.

Keywords: transmission of information under interference conditions, additional coding with a replacement ternary code, limitations and capabilities of existing information technologies, information security of infotelecommunication systems

For citation: Shiryayev A.A., Kukushkin S.S., Oleinik I.I. 2023. Information Processing in the Construction of High-Performance Hardware Systems Based on Parallelization of Transmitted Data Streams. Economics. Information technologies, 50(2): 465–475 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-465-475

Введение

Распараллеливание потоков передаваемых данных составляет основу для реализации многих новых технологий передачи информации. Эти технологии распараллеливания каналов передаваемых данных активно используются при передаче высокоскоростной информации по беспроводным информационным коммуникациям. Такая потребность проявляется во многих технических приложениях и, в частности, при передаче потокового видео. Один из таких вариантов распараллеливания и схема его реализации приведена на рисунке 1.

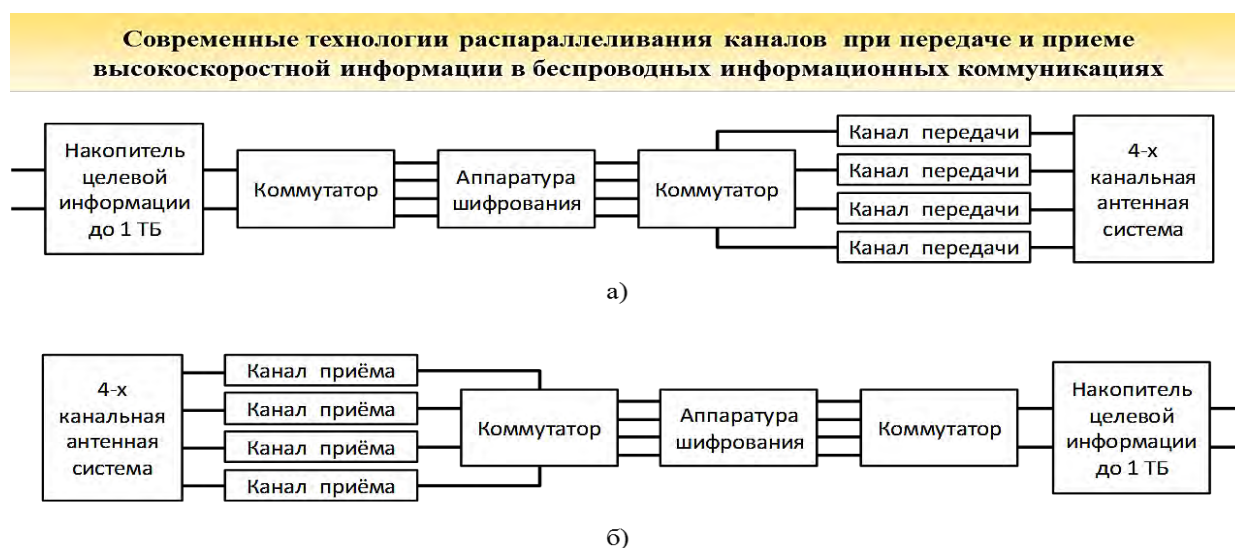


Рис. 1. Один из вариантов построения системы передачи высокоскоростной информации в беспроводных информационных коммуникациях

Fig. 1. One of the options for building a system for transmitting high-speed information in wireless information communications

Современные технологии предполагают разделение на борту КА ДЗЗ исходного цифрового потока информации, поступающего с высокой скоростью – более 1 Гбит/с на несколько частей. Исходный поток двоичных символов большого объема сначала разделяют на 2 полупотока (четных и нечетных бит), а затем каждый из них так же делят на 2 подпотока. В результате этого деления длительность битов каждого из каналов увеличивают в 4 раза, но они так же, как и при квадратурной модуляции К. Феера, не связаны аналитически между собой. Необходимость распараллеливания каналов связана с тем, что производительность современных ПЛИС в 2-3 раза меньше значения, определяемого требуемой скоростью передачи информации. Но если для распараллеливания использовать представление исходных данных и сообщений образами-остатками, полученными при использовании 4-х модулей сравнения m_j , то сбои в одном из каналов могут быть восполнены за счет других каналов передачи и приема высокоскоростной информации в беспроводных информационных коммуникациях.

Однако созданию эффективных систем передачи данных по высокоскоростным беспроводным информационным коммуникациям и радиоканалам препятствуют многие нерешенные проблемы [Макклеллан 1983, Блейхут 1986, Лидл 1988]. Одна из них заключается в том, что в условиях существующих ограничений повышение скорости передачи становится возможным только за счет понижения качества получаемой информации, определяемого, прежде всего, показателями ее помехоустойчивости, достоверности, полноты и достаточности [Гладков 2008, Кукушкин 2009].

Формализованная постановка проблемы передачи информации по высокоскоростным беспроводным информационным коммуникациям и радиоканалам



Рис. 2. Формализованная постановка научной проблемы передачи информации

Fig. 2. Formalized formulation of the scientific problem of information transfer

Из нее следует, что одним из приемов, позволяющим как-то снизить негативное влияние ограничений на достижение ожидаемых результатов, становится распараллеливание потоков передаваемых данных.

Один из известных приемов распараллеливания цифровых сигналов связан с преобразованием Гильберта [Былински 1980, Фомин 1980]. Его суть заключается в таком разделении

исходного цифрового сигнала, при котором формируется «квадранта» $Q(t)$, представляющая собой сигнал, сдвинутый относительно исходного $I(t)$ на угол (фазу) 90° . Затем их значения возводят в квадрат $I(t)^2$ и $Q(t)^2$ и суммируют: $Z(t)^2 = I(t)^2 + Q(t)^2$, в результате чего получают сигнал $Z(t)$, который называют *комплексной огибающей* исходного сигнала. Одна из возможных реализаций преобразования Гильберта известна под названием метода квадратурной модуляции К. Феера [Ященко 1998, Гладков 2008]. В новой области применения (модуляции сигнала) суть преобразования Гильберта заключается в том, что любой цифровой сигнал может быть представлен в виде комбинации действительной и мнимой частей, где первое слагаемое называется *синфазной составляющей* (или I-составляющей, от англ. *in-phase*) сигнала, а второе – *квадратурной составляющей* (или Q-составляющей, от англ. *quadrature*) сигнала. Пример такой технологии, связанный с представлением фазоманипулированного сигнала двумя составляющими: *синфазной* $I(t)$ и *квадратурной* $Q(t)$ приведен на рисунке 3.

Применительно к цифровым сигналам используется простейший способ формирования *синфазной* $I(t)$ и *квадратурной* $Q(t)$ составляющих. Он предполагает деление исходного потока бит сформированного группового потока данных на четные и нечетные их последовательности. Пример такого деления приведен на рисунке 3, на котором представлен исходный поток данных, состоящий из биполярных импульсов, принимающих значения «+1» или «-1», которые при двоичном кодировании отождествляются с символами «1» и «0».

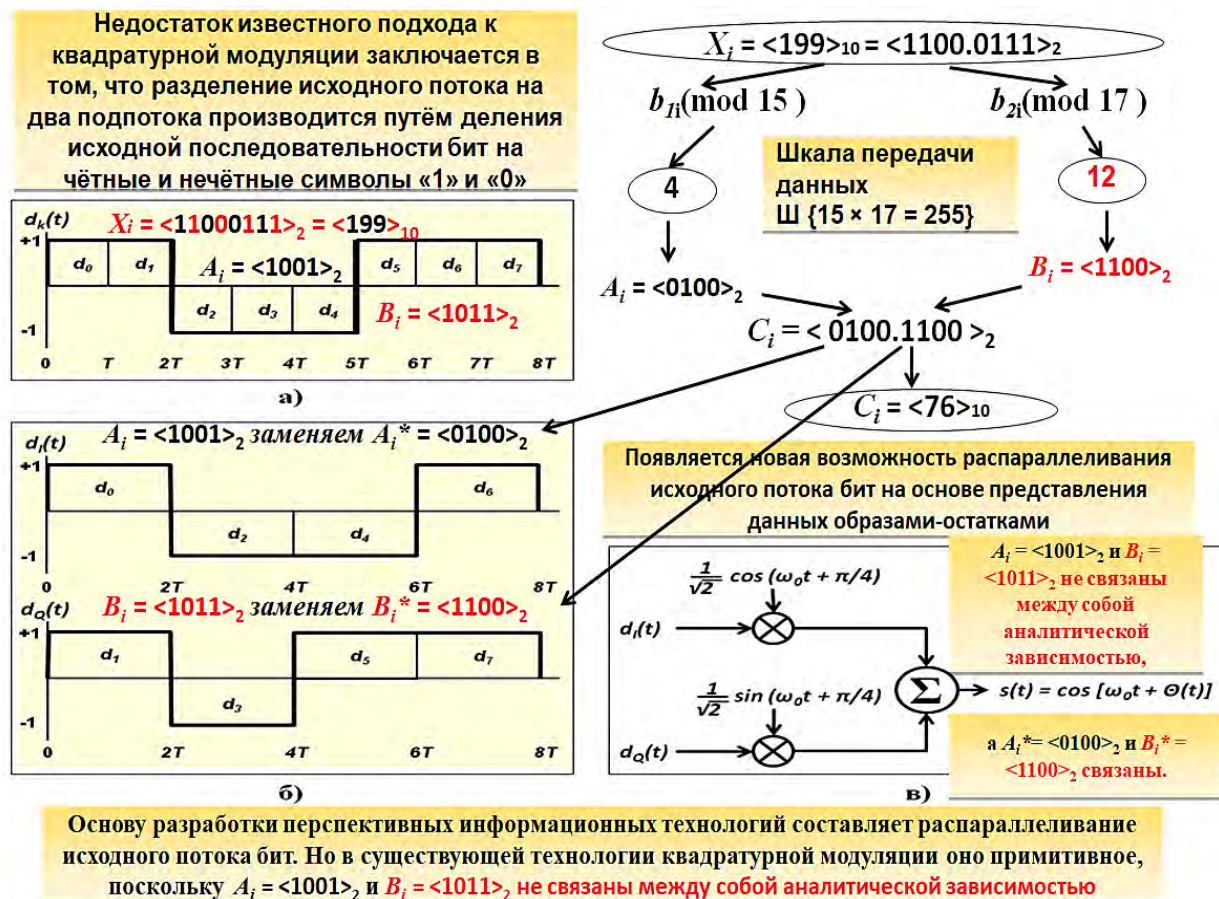


Рис. 3. Иллюстрация предлагаемой замены существующего метода распараллеливания потока символов двоичного кода при квадратурной модуляции передаваемого сигнала на предлагаемый, основу которого составляет нетрадиционное представление данных и сообщений их образами-остатками

Fig. 3. Illustration of the proposed replacement of the existing method of parallelizing the stream of binary code symbols with quadrature modulation of the transmitted signal with the proposed one, which is based on an unconventional representation of data and messages by their residual images

В известном методе [Кукушкин 2009, Кузнецов 2015] этот поток импульсов разделяют на составляющие: синфазный поток $I(t)$ и квадратурный поток $Q(t)$, как показано на рис. 3 путем его деления на четные и нечетные биты. За счет этого продолжительность передачи символов «1» и «0» в распараллеленных потоках увеличивается в 2 раза, в результате чего повышаются и показатели достоверности их приема в условиях помех.

Из иллюстрации, приведенной на рисунке 4, следует, что амплитуду высокочастотной синфазной составляющей сформированного сигнала (синий цвет) изменяют по закону $\cos(\varphi(t))$, квадратурной – на основе $\sin(\varphi(t))$ (красный цвет), а затем их суммируют $I(t)$ и квадратурный поток $Q(t)$, в результате чего получают гармонический высокочастотный сигнал, с другой круговой частотой $\cos(2\pi f t + \varphi(t))$ (зеленый цвет), который и становится переносчиком передаваемой информации. При его приеме определяют значения его фаз φ_i в моменты времени, отождествляемые с цифрами $i = 0, 1, 2, \dots$. Полученные кодовые расшифровки объединяют и таким образом восстанавливают исходную последовательность бит, которая была первоначально сформирована на передающей стороне. Также для повышения помехозащищенности восстановления переданных данных на передающей стороне синфазная составляющая при смене бит принимает значения 0° и 180° , квадратурная – 90° и 270° .

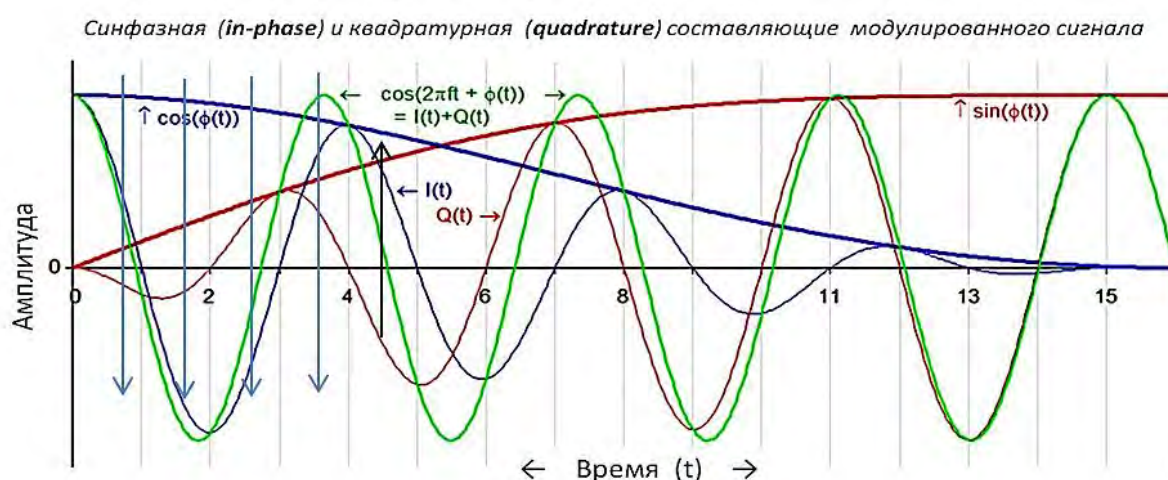


Рис. 4. Иллюстрация основополагающих принципов квадратурной модуляции подпотоков и их последующего объединения в результате суммирования перед передачей в беспроводной канал связи (в результате распаралеливания скорости поступления потоков на передающее устройство равны половине скорости передачи исходного потока)
Fig. 4. Illustration of the fundamental principles of quadrature modulation of substreams and their subsequent combining as a result of summation before transmission to a wireless communication channel (as a result of parallelization, the streams arrive at the transmitter at half the transmission rate of the original stream)

Потом каждому из них ставят в соответствие исходные значения двух фаз синфазной и квадратурной составляющих, на основе которых и восстанавливают соответствующие им два символа двоичного кода: «1» или «0» двоичного кода (по одному для каждого из подпотоков с четными и нечетными битами). В результате этого при каждом таком определении получают одну из четырех кодовых комбинаций: $\langle 00 \rangle_2$, $\langle 01 \rangle_2$, $\langle 10 \rangle_2$ и $\langle 11 \rangle_2$. Данный метод представляет собой результат приспособления преобразования Гильберта к технологии передачи и сбора информации, позволяющей за счет распараллеливания процессов формирования модулирующих сигналов повысить эффективность использования несущей частоты радиосигнала. Поэтому он становится основным при проектировании высокоскоростных радиоканалов. Но, его недостаток заключается в том, что сформированные, отмеченным способом, подпотоки не связаны между собой аналитическими зависимостями. Поэтому сбой, хотя бы одного двоичного символа в подпотоках, может привести к размножению ошибок при приеме переданной информации [Гладков 2008, Кукушкин 2009].

Другое дело, когда распараллеливание бит будет произведено на основе определения остатков $b_{1i}(k\Delta T)$ и $b_{2i}(k\Delta T)$, которые получают в результате деления исходных данных $X_i(k\Delta T)$ на модули сравнения m_j , например, $m_1 = 2^n - 1$ и $m_2 = 2^n + 1$.

На иллюстрации, приведенной на рисунке 3, рассмотрен случай представления данных байтами (8-разрядными двочными словами ($N = 2n = 8$)), при котором каждое значение образов-остатков $b_{1i}(k\Delta T)$ и $b_{2i}(k\Delta T)$ будет представлено 4-мя разрядами двоичного кода ($n = 4$). Таким образом, будет произведено распараллеливание байтовых потоков с числом бит в каждом информационном слове $N = 8$ на два полубайтовых подпотока, каждый из которых будет представлен значениями образов-остатков $b_{1i}(k\Delta T)(\text{mod } m_1)$ и $b_{2i}(k\Delta T)(\text{mod } m_2)$. Для существующей квадратурной модуляции сигналов такая подмена окажется незамеченной, но подпотоки информации в виде синфазного потока $I(t)$ и квадратурного потока $Q(t)$, окажутся связаны между собой, поскольку исходные данные для их получения $X_i(k\Delta T)$ и модули сравнения $m_1 = 2^n - 1$ и $m_2 = 2^n + 1$ одни и те же. Но это же представление, использованное ранее, при дополнительном безызбыточном помехоустойчивом кодировании цифровых сигналов датчиков, формируемых на их выходе после аналого-цифрового преобразования (АЦП) (рисунок 3) позволяет не только обеспечивать помехоустойчивость, контролировать достоверность данных получаемой измерительной информации (ИИ) в информационно-телекоммуникационных системах (ИТКС) ВВСТ, но и корректировать обнаруженные в них ошибки [Кузнецов 2015, Кукушкин 2018]. Таким образом, возможность решения задач распараллеливания потоков передаваемых данных может быть решена на основе математических методов конструктивной теории конечных полей [Торгашев 1973, Яценко 1998, Кукушкин 2003].

Пояснению сути предлагаемого технического решения посвящена иллюстрация метода экономного (безызбыточного) кодирования данных измерений с использованием образов-остатков (рисунок 5) [Кузнецов 2015, Булычев 2016, Кукушкин 2018].

Метод дополнительного экономного помехоустойчивого кодирования данных измерений с использованием образов-остатков

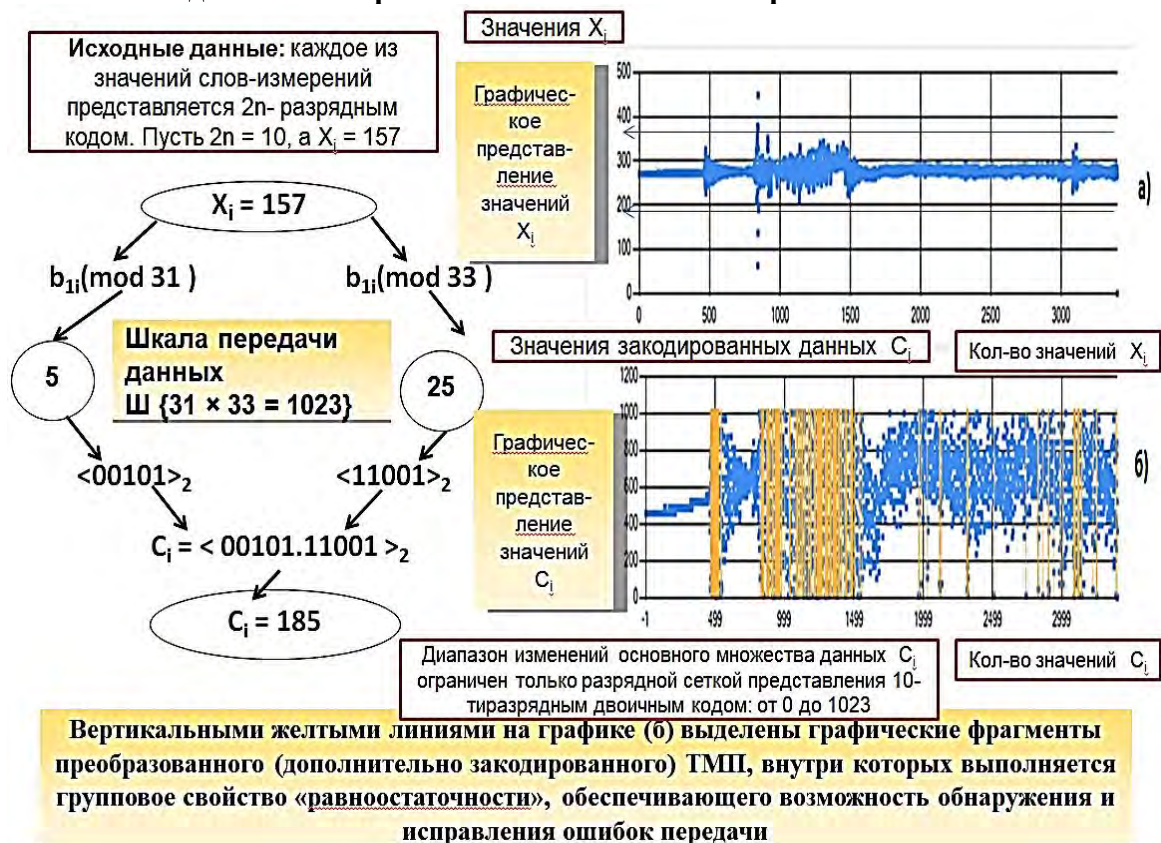


Рис. 5. Иллюстрация основных научно-методических положений разработанного метода экономного (безызбыточного) кодирования данных измерений, получаемых при летных испытаниях перспективных образцов ВВСТ, с использованием образов-остатков

Fig. 5. Illustration of the main scientific and methodological provisions of the developed method for economical (non-redundant) coding of measurement data obtained during flight tests of advanced AMSE samples using residual images

При его использовании каждое из полученных результатов телеизмерений (ТИ) X_i , представленных на выходе датчика N -разрядным двоичным кодом ($N = 2n$), последовательно делят на значение выбранных модулей сравнения m_j , $j = 1, 2$, например, $m_1 = 2^n - 1$ и $m_2 = 2^n + 1$. Выбранные значения модулей являются оптимальными, так как их произведение $m_1 \times m_2 = (2^n - 1)(2^n + 1) = 2^{2n} - 1$ и совпадает со шкалой (Ш) представления данных телеизмерений (ТИ), представленных N -разрядным двоичным кодом. На иллюстрации (рисунок 5) представлен случай, когда значения результатов ТИ представлены 10-разрядным двоичным кодом ($N = 2n = 10$). Следовательно, $n = 5$ и выбранные оптимальные модули сравнения равны: $m_1 = 2^5 - 1 = 31$ и $m_2 = 2^5 + 1 = 33$. При этом шкала однозначного представления данных ТИ определяется как: $Ш = (0 - (2^{10} - 1)) = (0 - 1023)$. Об этом свидетельствует и графическое представление дополнительно закодированного $C_i(k\Delta T)$ телеметрируемого параметра (ТП), исходные значения которого обозначены, как $X_i(k\Delta T)$. При этом результат кодирования $C_i(k\Delta T)$ составлен из их двух образов-остатков $b_{1i}(k\Delta T)$ и $b_{2i}(k\Delta T)$, формально объединенных в новое двоичное кодовое слово $C_i(k\Delta T) = b_{1i}(k\Delta T) \vee b_{2i}(k\Delta T)$ той же разрядности: ($N = 2n = 10$).

При этом в результате дополнительного безыбыточного кодирования результатов ТИ появляются новые свойства:

- метрологическая шкала ТИ (представления данных $C_i(k\Delta T)$ ($Ш = 0 - 1023$)) совпадает со шкалой, которая определяется разрядностью (N) кодовых слов, в то время, как ее исходное значение, определяемое множеством данных $X_i(k\Delta T)$ находится в пределах $|200-380| = 180$, в результате этого разрешающая способность графического отображения повышена в $k = 1023/180 = 5,6$ раз;

- увеличено в $m_2 = 2^n + 1$ раз минимальное кодовое расстояние ($d_{\min}$) между соседними значениями закодированных значений ТМП, заключенными между разрывами, выделенными вертикальными «желтыми» линиями (рисунок 5) (на выделенных временных интервалах каждое из полученных закодированных значений ТИ $C_i(k\Delta T)$ даст один и тот же остаток ξ_i ($\xi_i = \text{Const}$), если оно не было искажено).

Последнее свойство представляет собой инвариант, имеющий такую же синхронную форму представления, как и у параметров $X_i(k\Delta T)$ и $C_i(k\Delta T)$, благодаря чему местоположение ошибки точно устанавливается и, в последующем, исправляется. Выделенный таким образом, инвариант, называемый групповым свойством равноостаточности, предлагается использовать для контроля достоверности полученных результатов ТИ и сообщений, полученных по беспроводным информационным каналам и коммуникациям [Кузнецов 2015, Булычев 2016].

В результате этого при передаче высокоскоростной информации появляется новая возможность повышения качества получаемой измерительной информации (ИИ). Она связана с тем, что эту получаемую ИИ можно корректировать с целью повышения ее показателей полноты контроля, достаточности для анализа и достоверности для повышения адекватности принимаемых управляющих решений. При этом адаптивность к изменяющейся обстановке, составляющая основу интеллектуализации разрабатываемого информационно-измерительного обеспечения (ИИО) перспективных образцов ВВСТ обеспечивается за счет использования двух режимов декодирования данных ИИ на приемной стороне: «жесткого» и «мягкого». При использовании алгоритмов «жесткого» декодирования данных нет возможности обнаружения и исправления ошибок передачи результатов ТИ: он является общим и универсальным. Поэтому работа интеллектуального алгоритма «мягкого» декодирования осуществляется под управлением универсального «жесткого» алгоритма. Он определяет наличие корреляционной зависимости соседних значений результатов ТИ и если она отсутствует, то работа алгоритма «мягкого» декодирования приостанавливается. В результате на выходе такой системы будут данные, полученные только при «жестком» декодировании. При появлении корреляционной взаимосвязи соседних значений ТИ работа алгоритма «мягкого» декодирования возобновляется и производится коррекция ошибок на основе групповых свойств равноостаточности, которые появляются при нетрадиционном представлении данных образами-остатками (САП-1(о)) или при замещающем его САП (САП-1(п)), основу которого составляет разделение исходных слов-измерений на полуслова с последующей перестановкой их местами [Кукушкин 2009, Кукушкин 2018, Ширяев 2023]. Эту особенность отражает иллюстрация, приведенная на рис. 6, на которой представлена схема взаимодействия отмеченных двух алгоритмов восстановления данных ТИ с

повышенным уровнем достоверности. При этом соответствующие обратные алгоритмы восстановления ИИ имеют впереди букву «О»: ОСАП-1(ж) и ОСАП-1(м) в случаях использования алгоритма «жесткого» и «мягкого» декодирования соответственно. Использование алгоритма представления данных образами-остатками отображается добавлением буквы «о»: ОСАП-1(ож) и ОСАП-1(ом), а перестановки полуслов буквы «п» – ОСАП-1(пж) и ОСАП-1(пм). При этом алгоритмы ОСАП-1(ом) и ОСАП-1(пм) не имеют принципиальных отличий. Различия будут проявляться только в значениях минимального кодового расстояния. В первом случае оно равно: $d_{\min} = 2^n + 1$, а во-втором - $d_{\min} = 2^n$.



Рис. 6. Иллюстрация разработанного метода совместного использования двух алгоритмов обратного преобразования (ОСАП(ж)) и (ОСАП(м))
Fig. 6. Illustration of the developed method for joint use of two inverse transformation algorithms (OSAP(g)) and (OSAP(m))

Рассмотренные технологии повышения помехоустойчивости ИТКС могут быть дополнены. Одно из таких предложений связано с предлагаемым переходом на этапе модуляции от двоичной системы представления данных к наиболее экономичной троичной на основе дублирующих символов $S_i(T_i)$, $i = 0, 1, 2$. В обобщенном виде такой переход представлен на рисунке 7. В результате такого кодирования в среднем, в 1,6 раза уменьшается плотность потока моментов, требующих изменения состояния несущей частоты, например, фазы при фазовой модуляции. Следовательно, дополнительно в 1,6 раза может быть увеличена скорость передачи информации при неизменных других показателях эффективности ИТКС. Суть дополнительного сжатого логического помехоустойчивого кодирования троичным кодом заключается в том, что вновь введенным дублирующим друг друга троичным символам $S_i(T_i)$, где $i = 0, 1, 2$ – позиции кода, поставлены в соответствие следующие кодовые комбинации бит, составленные из двух и трёх символов «1» и «0»: $S_0(T_0) \leftrightarrow <11, 00>_2$, $S_1(T_1) \leftrightarrow <10, 001>_2$ и $S_2(T_2) \leftrightarrow <101>_2$ [Кузнецов 2015, Ширяев 2023]. При формировании троичного кода использовано следующее правило обеспечения взаимосвязи между дублирующими символами $S_i(T_i)$, $i = 0, 1, 2$ троичного кода. Последний бит, двоичного потока данных, полученный при предыдущей расшифровке символа $S_i(T_i)$, является первым при расшифровке следующего за ним троичного символа.

В результате этого формируют два уровня разбиений K_1 и K_2 , используемых при перекодировании двоичного кода в предлагаемый троичный код. Эта особенность кодирования проиллюстрирована на рисунке 7.

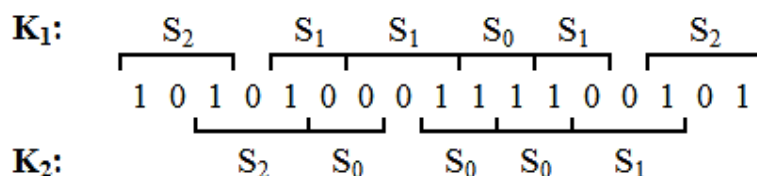


Рис. 7. Иллюстрация основополагающих принципов замены исходного двоичного кода рекуррентным логическим трехосновным кодированием

Fig. 7. Illustration of the fundamental principles of replacing the original binary code with a recurrent logical three-base coding

Дополнительные резервы, которые предлагается использовать при разработке высокоэффективных методов обеспечения помехоустойчивости беспроводных информационных коммуникаций на основе математических методов синтеза новых сигнально-кодовых конструкций



Рис. 8. Разработанные предложения, связанные использованием новых структурно-алгоритмических преобразований, основанных на образах-остатках с одновременным последующим переходом от традиционного двоичного кода к сжатому логическому помехоустойчивому троичному кодированию

Fig. 8. Developed proposals related to the use of new structural-algorithmic transformations based on residual images with a simultaneous subsequent transition from the traditional binary code to compressed logical error-correcting ternary coding

После этого полученные троичные символы при двух уровнях кодирования объединяют в единый поток символов, которые используют для модуляции сигнала. Выбор такого информационного сечения определяется тем, что при модуляции нет жестких ограничений на количество позиций символов передаваемого кода. Об этом, в частности, свидетельствуют новые технологии квадратурной модуляции, когда используется множество разрешенных позиций при модуляционном кодировании передаваемой информации.

Объединенные на выходе кодера двух сформированных соседних информационных импульса будут отличаться тем, что они могут принимать одно из трёх разрешённых уровней амплитуды, соответствующие амплитудно-импульсной модуляции (АИМ₃). Кроме того, временной интервал между ними также может принимать только три значения: T_0 , T_1

$= 1,5T_0$ и $T_2 = 2T_0$, где T_0 – длительность символов «1» и «0» в исходном двоичном потоке передаваемых данных. В результате этого АИМ₃ будет продублирована вторым видом широтно-импульсной модуляции (ШИМ₃). При этом, помимо дублирования передаваемой информации при её импульсной модуляции, обеспечивают при приёме контроль наличия ошибок [Булычев 2016, Кукушкин 2018, Ширяев 2023].

Выводы

Рассмотренные математические основы построения высокопроизводительных аппаратных систем позволяют синтезировать различные структурно-алгоритмические преобразования (САП-1) передаваемой и получаемой информации. Получаемые при этом результаты представления передаваемой информации в канале связи новыми сигнально-кодowymi конструкциями обладают целым рядом преимуществ.

Во-первых, при нетрадиционном представлении данных образами-остатками появляется возможность обеспечивать помехоустойчивость и контролировать достоверность данных получаемой измерительной информации и ее повышения за счет дополнительных методов обработки ИИ. Кроме того, на последующем этапе САП-2 перехода от двоичного кода к замещающему сжатому представлению информации на основе троичного кодирования впервые получили возможность обнаружения и исправления некоторых ошибок передачи на самом раннем символьном уровне (между двумя соседними символами $S_2(T_2)$ может находиться только чётное число других символов $S_1(T_1)$) [Кузнецов 2015, Ширяев 2023].

Во-вторых, переход к замещающему троичному кодированию составляет основу выделения из принимаемых кодовых конструкций дополнительного хронизирующего колебания, которое необходимо для повышения точности системы синхронизации передаваемых и получаемых потоков информации, а также для уменьшения фазовых дрожаний в беспроводных информационных линиях связи и коммуникаций при регенерации сигналов в пунктах регенерации.

В-третьих, троичная логика формирования сигналов в каналах связи обладает большими функциональными возможностями (функционально она является более полной по сравнению с двоичным кодированием информации). Если в двоичной системе счисления существует только одна операция логическая «НЕ», которая меняет символ «0» на символ «1» и, наоборот, то в троичной системе кодирования должны быть три элемента «НЕ». Один из них отвечает за инверсию символа «1» в символ «-1» (в нашем примере «1» и «2»), второй переход символа «1» в символ «0». [Кузнецов 2015, Кукушкин 2018, Ширяев 2023].

Таким образом, внедрение новых методов САП передаваемой информации позволяет значительно повысить помехоустойчивость беспроводных информационных коммуникаций и эффективность ИТКС программными методами без существенных доработок существующих аппаратных средств.

Разработанные математические методы позволили синтезировать множество различных технических решений, на которые получены за последние 5 лет более 10 патентов на изобретения.

Список литературы

- Блейхут Р. 1986. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. М.: Мир, 576 с.
- Булычев Ю.Г., Васильев В.В., Кукушкин С.С. и др. 2016. Информационно-измерительное обеспечение натуральных испытаний сложных технических комплексов. М.: Машиностроение-Полет, 440 с.
- Былинский П., Ингрэм Д. 1980. Цифровые системы передачи. Перевод с англ., под ред. А.А. Венцеля, М.: «Связь», 360 с.
- Гладков И.А., Кукушкин С.С., Чаплинский В.С. 2008. Методы и информационные технологии контроля состояния динамических систем. М.: МО РФ, 327с.
- Кузнецов В.И., Кукушкин С.С. Способ передачи телеметрической информации, адаптированный к различным ситуациям при испытаниях ракетно-космической техники, и система для его осуществления (Патент № 2571584, опубл. 20.12.2015г., бюл. №33).
- Кукушкин С.С. 2009. Математические методы преобразования и обработки измерительной информации при испытаниях и штатной эксплуатации ракетно-космической техники. М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 276 с.
- Кукушкин С.С. 2003. Теория конечных полей и информатика, т. 1: «Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках». М: Минобороны РФ, 376 с.

- Кукушкин С.С. Способ первичной обработки информации с обнаружением и исправлением ошибок передачи (Патент № 2658795, опубл. 22.06.2018, бюл. №18).
- Лидл Р., Нидеррайтер Г. 1988. Конечные поля. В 2-х томах. Пер с англ. М.: Мир, 882с.
- Макклеллан Дж., Рейдер Ч. 1983. Применение теории чисел в цифровой обработке сигналов/ Пер. с англ. М. Радио и связь. 376 с.
- Торгашев В.А. 1973. Система остаточных классов и надежность ЦВМ. М.: Сов. Радио, 120 с.
- Фомин С.В. Системы счисления. 1980. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 48 с.
- Ширяев А.А., Кукушкин С.С., Борискин С.С., Оберемко А.Г., Кукушкин Л.С. Способ сжатого помехоустойчивого кодирования данных для передачи и хранения информации (Патент № 2789785 С1 09.02.2023, бюл. № 7).
- Яценко В.В. 1998. Введение в криптографию. М., МЦНМО, 271 с.

References

- Blahut R. 1986. Theory and practice of error control codes. M.: Mir, 576p. (in Russian)
- Bulychev Yu.G., Vasiliev V.V., Kukushkin S.S. et al. 2016. Information-measuring support of full-scale tests of complex technical complexes, M.: Mashinostroenie-Flight, 440 p. (in Russian)
- Bylinsky P., Ingram D. 1980. Digital transmission systems /Translated from English, edited by A.A. Wenzel, Moscow: «Svyaz», 360 p. (in Russian)
- Fomin S.V. 1980. Number systems. M.: Science. Main edition of physical and mathematical literature, 48 p.
- Gladkov I.A., Kukushkin S.S., Chaplinsky V.S. 2008. Methods and information technologies for monitoring the state of dynamic systems. M.: MO RF, 327 p. (in Russian)
- Kukushkin S.S. 2009. Mathematical methods of transformation and processing of measuring information during testing and regular operation of rocket and space technology. M.: VA RVSN im. Peter the Great, 276 p. (in Russian)
- Kukushkin S.S. 2003. Theory of finite fields and computer science, vol. 1: «Methods and algorithms, classical and non-traditional, based on the use of the constructive remainder theorem». Moscow: Ministry of Defense of the Russian Federation, 376 p. (in Russian)
- Kukushkin S.S. Method of primary information processing with detection and correction of transmission errors (Patent No. 2658795, publ. 22.06.2018, bul. No. 18). (in Russian)
- Kuznetsov V.I., Kukushkin S.S. A method of transmitting telemetric information adapted to various situations during tests of rocket and space technology, and a system for its implementation (Patent No. 2571584, publ. 20.12.2015, byul. No.33). (in Russian)
- Lidl R., Niederreiter G. 1988. Finite fields. In 2 volumes. Per from English. M.: Mir, 882 p. (in Russian)
- McClellan J., Rader Ch. 1983. Application of number theory in digital signal processing / Per. from English – M. Radio and communication. 376 p. (in Russian)
- Shiryaev A.A., Kukushkin S.S., Boriskin S.S., Oberemko A.G., Kukushkin L.S. The method of compressed error-correcting data coding for the transmission and storage of information (Patent No. 2789785 C1 09.02.2023, Bull. No. 7). (in Russian)
- Torgashev V.A. 1973. Residual class system and computer reliability. M.: Sov. Radio, 120 p. (in Russian)
- Yashchenko V.V. 1998. Introduction to cryptography. Under total ed. M.: MTsNMO, 271 p. (in Russian)

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

Ширяев Алексей Александрович, главный специалист по вопросам эксплуатации НКИ космодрома «Восточный». г. Королёв, Россия

Кукушкин Сергей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, заслуженный изобретатель РСФСР. г. Королёв, Россия

Олейник Иван Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey A. Shiryaev, Chief Specialist on the operation of the NCI of the «Vostochny» Cosmodrome, Korolev, Russia

Sergey S. Kukushkin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Honored Inventor of the RSFSR, Korolev, Russia

Ivan I. Oleinik, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 004.89

DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-2-476-486

Имитационная модель распределенного процесса сбора данных

Оболенский Д.М., Шевченко В.И., Ченгарь О.В.

Севастопольский государственный университет,

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

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

Аннотация. В данной работе авторы рассматривают процесс сбора и обработки данных из различных веб-источников. Исследована простая модель сбора данных, основанная на циклическом переборе, определены её основные недостатки. Предложена модель распределенного сбора данных как многоканальной системы массового обслуживания с неограниченной очередью. Модель использует множество узлов для доступа к онлайн-ресурсу, а для хранения информации о задачах и их балансировке между узлами используется очередь сообщений. Распределенная модель также обладает свойством отказоустойчивости и горизонтального масштабирования. Авторы сравнивают обычную и распределенные модели при помощи средства имитационного моделирования AnyLogic. Также в процессе моделирования используются различные распределения времени отклика внешнего ресурса. Результаты имитационного моделирования показывают эффективность распределенного процесса сбора данных как по критерию времени, так и по критерию удельной стоимости.

Ключевые слова: распределенный сбор данных, имитационная модель, сбор данных, распределенные системы, системы массового обслуживания

Для цитирования: Оболенский Д.М., Шевченко В.И., Ченгарь О.В. 2023. Имитационная модель распределенного процесса сбора данных. Экономика. Информатика, 50(2): 476–486. DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-476-486

A Simulation Model of the Distributed Data Collection Process

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

Sevastopol State University,

33 University St, Sevastopol, 299053, Russia

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

Abstract. In this paper, the authors consider the process of collecting and processing data from various web sources. A simple data collection model based on cyclic iteration is investigated, its main disadvantages are identified. The model of distributed data collection as a multi-channel queuing system with unlimited waiting is described. This model uses multiple nodes to access an online resource, and a message queue is used to store information about tasks and to balance them between nodes. The distributed model is also fault tolerance and horizontal scalable. The authors compare simple and distributed models using the AnyLogic simulation tool. Additionally, various distributions of the server response time of an external web-resource are used in the modeling process. The simulation results show the effectiveness of the distributed data collection process both by the criterion of time and by the criterion of unit cost.

Keywords: distributed data collection, simulation model, data collection, distributed systems, queueing model

For citation: Obolensky D.M., Shevchenko V.I., Chengar O.V. 2023. A Simulation Model of the Distributed Data Collection Process. Economics. Information technologies, 50(2): 476–486 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2023-50-2-476-486

Введение

Процесс сбора данных с различных веб-сайтов и API [Государев, 2020] (интерфейсы прикладного программирования) может быть автоматизирован с помощью различных инструментов, которые позволяют разработчикам получать доступ к некоторым онлайн-ресурсам и извлекать данные в структурированном, полуструктурированном и неструктурированном форматах [Ткачук, 2018].

Данный процесс – одна из актуальных задач в современном мире, поскольку он позволяет организациям и частным лицам собирать ценную информацию, например, информацию о конкурентах, тенденциях отрасли, последних вакансиях и новостях и многом другом [Бенфилд, Жлемко, 2006]. Эти данные могут быть использованы для различных целей, таких как маркетинговые исследования, бизнес-аналитика и принятие решений, системы построения рекомендаций, образовательные экосистемы [Оболенский, 2020] и т.д.

Например, компания может использовать веб-скрапинг [Государев, 2020] для сбора отзывов клиентов с онлайн-площадок, чтобы улучшить свои продуктовые предложения или отслеживать репутацию своего бренда. Исследователь может использовать веб-API для сбора данных с платформ социальных сетей для изучения общественного мнения по определенной теме [Ткачук, 2018; Бенфилд, Жлемко, 2006].

В целом, сбор данных с веб-сайтов и API обеспечивает экономичный и действенный способ сбора больших объемов информации, которые могут быть использованы для анализа и принятия обоснованных решений.

Существует несколько методов сбора веб-данных, включая:

1. веб-скрапинг (web-scraping) [Государев, 2020]: этот процесс включает в себя использование программных средств для извлечения данных с веб-сайтов. Получение данных с онлайн-ресурсов может быть выполнено вручную или автоматизировано с использованием таких языков программирования, как Python;

2. использование API [Государев, 2020; Ткачук, 2018]: многие веб-сайты и онлайн-сервисы предоставляют API, которые позволяют разработчикам получать доступ к данным в структурированном формате и извлекать их. API-интерфейсы могут использоваться для сбора данных с платформ социальных сетей, веб-сайтов электронной коммерции, онлайн-порталов поиска работы и других онлайн-сервисов [Ткачук, 2018; Бенфилд, Жлемко, 2006];

3. интеллектуальный анализ данных (ИАД) включает в себя использование статистических методов и методов машинного обучения для извлечения информации из больших наборов данных. ИАД может использоваться для анализа посещаемости веб-сайта, поведения пользователей и так далее;

4. краудсорсинг (crowdsourcing) – сбор данных от большой группы людей с помощью онлайн-опросов или других форм пользовательского контента. Краудсорсинг может быть использован для сбора данных о потребительских предпочтениях, мнениях и другой демографической информации;

5. веб-аналитика включает в себя использование таких инструментов, как Google Analytics для отслеживания трафика веб-сайта, поведения пользователей и других показателей. Веб-аналитика может предоставить ценную информацию о производительности веб-сайта и вовлеченности пользователей.

Однако существует несколько ограничений при использовании различных методов сбора веб-данных, включая [Государев, 2020; Купер и др., 2006]:

1. качество данных. Собранные наборы данных могут содержать ошибки, несоответствия и неточности, которые могут повлиять на точность и надежность анализа;

2. технические ограничения. Сбор данных может потребовать специальных навыков и инструментов для преодоления технических проблем, таких как ограничения скорости доступа к веб-сайту, структура веб-сайта, форматирование данных и объем данных;

3. Непредсказуемые изменения. Веб-сайты могут изменить свою структуру, содержание или политику в любое время, что может повлиять на доступность и качество данных;



4. конфиденциальность данных. Сбор персональных данных с веб-сайтов без разрешения может нарушать законы о конфиденциальности и этические соображения;

5. юридические проблемы. Удаление данных с веб-сайтов может нарушать законы об авторском праве и соглашения об условиях предоставления услуг;

6. объемы данных. Сбор действительно больших объемов данных требует значительных инвестиций в инфраструктуру, а также особые подходы для реализации процесса сбора.

Для действительно большого объема данных процесс сбора может занять значительно больше времени, особенно в случаях, когда веб-сайт или API имеют ограничения по скорости. Эта статья посвящена сравнению распределенной обработки сбора данных с базовым конвейером сбора, чтобы выяснить, какое решение является наиболее подходящим для крупномасштабного сбора данных в условиях ограничений сайта-источника на доступ к нему.

Вопросы, поднимаемые в статье

В этой статье поднимаются следующие вопросы:

1. рассмотреть, что такое ограничение скорости доступа к веб-API;
2. исследовать, что такое распределенный процесс сбора веб-данных;
3. сравнить простой процесс сбора данных с распределенным.

Основная часть

Ограничение скорости веб-сайта или API относится к максимальному количеству запросов, которые могут быть сделаны к данному онлайн-ресурсу или API в течение определенного периода времени. Это ограничение обычно устанавливается владельцами веб-сайта или поставщиком API для предотвращения злоупотреблений, защиты своих серверов от перегрузки и DDoS атак, а также для обеспечения справедливого использования для всех пользователей. При превышении лимита скорости веб-сайт или API могут выдать сообщение об ошибке или временно заблокировать дальнейшие запросы до тех пор, пока лимит не будет сброшен. Это может повлиять на конвейеры сбора данных, когда объем данных очень велик.

Рассмотрим, как работает базовый процесс сбора данных. Схема процесса сбора данных показана на рисунке 1 ниже.

Процесс сбора данных может начинаться с запроса метаданных из некоторого API, который предоставляет подробную информацию о данных, подлежащих сбору. Эти метаданные могут включать такие сведения, как тип данных, формат, в котором они доступны, и любые ограничения на доступ к данному датасету.

Как только метаданные получены, следующим шагом является получение списка страниц, содержащих интересующие нас данные, с помощью API. Как только у нас есть список страниц, мы извлекаем список элементов, содержащих данные, которые мы хотим собрать. Этими элементами могут быть текст, изображения, видео, документы или любой другой тип контента, доступный на данной странице.

После того, как мы определили соответствующие элементы, мы извлекаем каждый элемент с помощью API и сохраняем результаты в системе хранения. Эта система хранения может быть базой данных, файловой системой или любым другим типом хранилища данных, подходящим для хранения собранных данных в рамках поставленной задачи.

На протяжении всего процесса сбора данных необходимо предусмотреть обработку ошибок и исключительных ситуаций, возникающих из-за проблем с подключением к сети, ошибок сервера или других факторов. Также необходимо реализовать механизмы ограничения скорости запросов к целевому онлайн-ресурсу, чтобы избежать перегрузки API или возникновения других проблем с производительностью. Это может быть сделано при помощи добавления искусственных задержек в программный код базового конвейера сбора данных.



Рис.1. Алгоритм работы базового конвейера сбора данных
Fig.1. Basic web data collection processing algorithm

Распределенный процесс сбора веб-данных использует несколько распределенных узлов, также называемых агентами [Евзеньях, 2021; Артамонов, 2016]. Каждый узел или агент отвечает за сбор небольшой части данных, которые затем агрегируются и используются для создания всеобъемлющего набора данных. Этот подход часто используется в крупномасштабных проектах веб-скрапинга, где объем собираемых данных слишком велик для обработки одним компьютером или пользователем. Распределяя рабочую нагрузку между несколькими узлами, процесс может быть завершен гораздо быстрее и эффективнее [Евзеньях, 2021].

Использование распределенного подхода имеет следующие преимущества [Артамонов, 2016]:

- масштабируемость. Распределенный конвейер сбора данных позволяет собирать большие объемы данных даже из нескольких источников одновременно, что может быть выгодно для крупномасштабных проектов;
- устойчивость. При распределенном подходе сбор данных может продолжаться, даже если один узел или сервер выходит из строя. При возникновении проблем задача может быть обработана повторно необходимое количество раз;
- скорость. Распределяя рабочую нагрузку между несколькими узлами или серверами, сбор данных может быть завершен быстрее, чем при централизованном подходе;
- гибкость. Распределенный подход обеспечивает большую гибкость с точки зрения того, где и как собираются данные.

Однако распределенный процесс сбора данных имеет некоторые недостатки [Евзеньях, 2021; Артамонов, 2016]:

- сложность. Распределенный подход может быть значительно более сложным в настройке и управлении, чем централизованный подход, а также требует дополнительных ресурсов и опыта использования.
- синхронизация. Необходимо обеспечить, чтобы все узлы не собирали несколько раз один и тот же фрагмент данных, а также чтобы данные были согласованы на всех узлах;

– стоимость. Распределенный подход может потребовать больше ресурсов и инфраструктуры, настройка и обслуживание которых могут быть дорогостоящими.

Распределенный конвейер сбора данных, рассмотренный в этой статье, показан на рисунке 2 ниже.

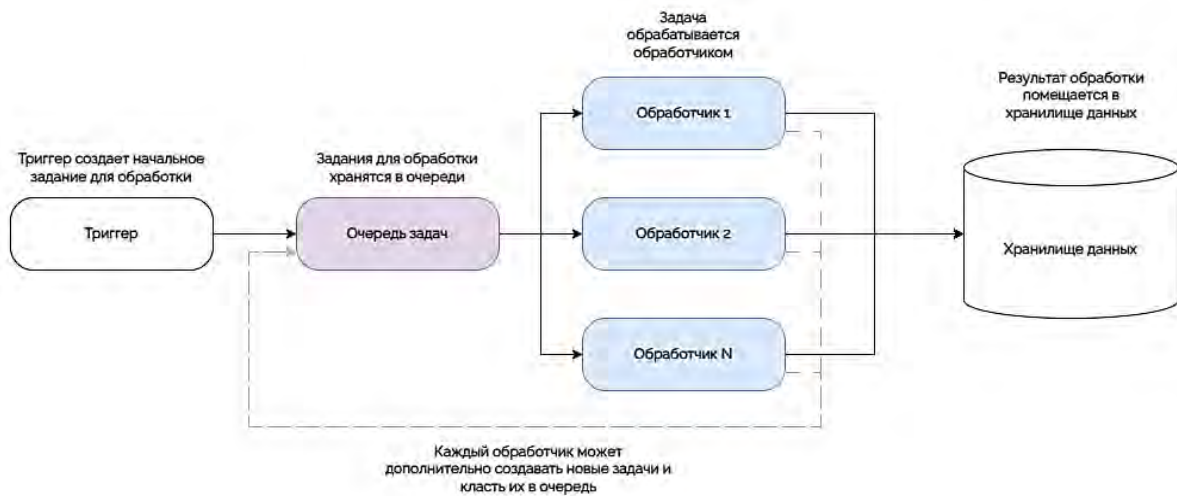


Рис. 2. Архитектура распределенного конвейера сбора данных
Fig. 2. A distributed data collection pipeline architecture

Конвейер распределенного сбора данных начинается с некоторого триггера, которым может быть событие *webhook*, событие ручного запуска или запланированное stop-задание, инициирующее процесс сбора данных. Триггер добавляет новую задачу в очередь задач, которая содержит все задачи для последующей обработки агентами.

Затем набор узлов извлекает задачи из очереди задач и обрабатывает их. Каждый узел имеет возможность обрабатывать задачу независимо, не полагаясь на другие узлы. Как только узел завершает задачу, он либо помещает следующую задачу в очередь задач, либо сохраняет итоговые результаты в хранилище.

Хранилище используется для хранения итоговых результатов конвейера сбора данных. Это может быть база данных или файловая система, в зависимости от типа собираемых данных. Хранилище получает данные от узлов и сохраняет их таким образом, чтобы они были легко доступны для дальнейшей обработки.

Архитектура такого распределенного конвейера сбора данных предназначена для обработки больших объемов данных и обеспечения эффективного и надежного сбора данных.

В общем случае распределенный процесс сбора данных может быть представлен в виде многоканальной системы массового обслуживания (СМО) с неограниченной длиной очереди вида $M / M / n / \infty$ в нотации Кендалла, где n – число каналов. Рассчитаем характеристики работы данной СМО в предельном режиме.

На вход данной СМО поступает пуассоновский поток заявок с интенсивностью $\lambda = 150$ заявок в минуту. Пусть число каналов $n = 8$. Среднее время обработки одной задачи $t_{\text{обсл}}$ составляет 2,8 секунды. Тогда интенсивность потока обслуживания $\mu = \frac{60}{t_{\text{обсл}}} = 21,43$ заявок в минуту.

Пусть $\psi = \frac{\lambda}{n \cdot \mu} = 7$ – показатель нагрузки на один канал. Тогда предельные вероятности можно рассчитать следующим образом:

Вероятность простоя каналов:

$$p_0 = \left(\sum_{k=0}^n \left(\frac{n^k}{k!} \psi^k \right) + \left(\frac{\psi^{n+1}}{n!(n-\psi)} \right) \right)^{-1} = 0,0001.$$

Вероятность отказа в обслуживании:

$$p_{\text{отк}} = 0.$$

Вероятность возникновения очереди:

$$p_{\text{queue}} = \frac{\psi^{n+1}}{n!(n-\psi)} = 0,1021.$$

Относительная пропускная способность:

$$Q = 1 - p_{\text{отк}} = 1.$$

Среднее число заявок в очереди:

$$L_{\text{queue}} = \frac{\psi^{n+1}}{nn!(1-\frac{\psi}{n})^2} p_0 = 0,8164.$$

Среднее число заявок в системе:

$$L = L_{\text{queue}} + \psi = 7,8164.$$

Имитационная модель может быть использована для сравнения двух различных подходов к процессу сбора данных [Карпов, 2005]. Имитационная модель – это математическое представление реальной системы или процесса. Она используется для моделирования поведения системы в различных условиях и для прогнозирования результатов различных сценариев. В контексте сбора данных имитационная модель может использоваться для моделирования поведения пользователей и серверов, а также для имитации сбора данных из различных источников [Лейман, 2015; Машенко, 2012; Бочкарева, 2009].

Имитационная модель также может быть использована для тестирования различных стратегий сбора данных и оценки их эффективности. Например, модель может быть использована для сравнения производительности различных алгоритмов веб-скрапинга или для оценки влияния различных ограничений на доступ к данным или форматов данных на процесс сбора [Лейман, Бочкарева, Сучкова, 2015; Бочкарева, 2009].

Мы используем следующие критерии для сравнения двух подходов:

1. эффективность по времени работы;
2. эффективность по стоимости;
3. сложность модели.

Теперь мы можем сравнить обе модели и проверить их в соответствии критериям, определенным выше. В таблице 2 мы можем видеть параметры API, используемые в обеих имитационных моделях.

Таблица 1

Table 1

Параметры API, используемые в имитационной модели
Simulation model API parameters

Количество элементов на одной странице	100
Общее число элементов	140000
Число страниц	1400
Среднее время ответа сервера, с	
50-й перцентиль	0,1
95-й перцентиль	0,15
99-й перцентиль	0,7
Задержка между запросами, с	1
Время обработки одного элемента, с	1

Процентили в ответе Web API [Лопез и др., 2019] относятся к распределению времени отклика для выбранной конечной точки (endpoint) используемого API. 50-й процентиль, также известный как медиана, представляет время отклика, при котором половина запросов занимает меньше, а половина – больше. 95-й процентиль представляет время отклика, при котором 95% запросов занимают меньше времени и только 5% – больше. Аналогично, 99-й процентиль представляет время отклика, которое у 99% запросов занимает меньше времени и только у 1% – больше [Лопез и др., 2019].

На рисунке 3 изображена имитационная модель распределенного конвейера обработки данных. Данная модель разработана и протестирована с использованием среды имитационного моделирования AnyLogic [Карпов, 2005].

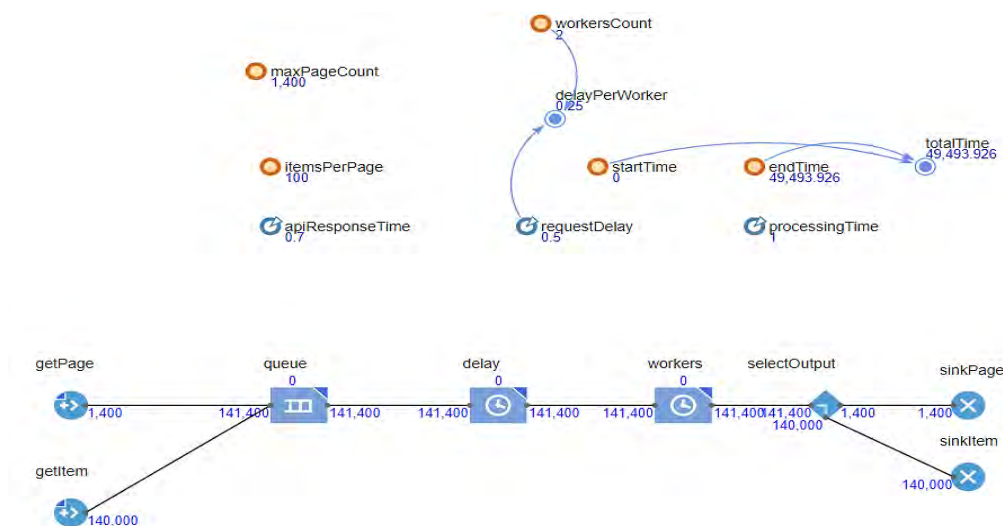


Рис. 3. Имитационная модель распределенного конвейера сбора данных
Fig. 3. Simulation model of the distributed data collection pipeline

Результаты моделирования простого конвейера обработки данных с помощью Excel представлены в таблице 2.

Таблица 2
Table 2

Результат моделирования простого конвейера сбора данных
Simple data collection pipeline model results

Процентиль	50	95	99
Получение страниц	1539	1609	2379
Получение элементов и обработка	293999	300999	377999
Суммарное время, с	295538	302608	380378
Суммарное время, минут	4925,63	5043,47	6339,63
Суммарное время, часов	82,094	84,058	105,661
Округленное время, часов	83	85	106
Округленное время, дни	3,46	3,54	4,42
Количество ядер ВМ	2		
Стоимость часа использования ядра [Правила тарификации Compute Cloud, 2023]	1,12		
Объем памяти (в Гб)	1		
Стоимость часа использования 1 Гб	0,39		
Стоимость использования, рубли	218,29	223,55	278,78

Результаты моделирования распределенного конвейера обработки данных с помощью AnyLogic представлены в таблице 3. Помимо использования процентилей, выполнено также моделирование ответов сервера при помощи распределения Эрланга.

Таблица 3
Table 3

Результат моделирования распределенного конвейера сбора данных
Distributed data collection pipeline model results

Процентиль/Распределение	50	95	99	Эрланг(2, 0.07)	Эрланг(2, 0.1)
Суммарное время, с	42420,601	45955,651	84841,201	46665,193	49493,926
Суммарное время, минут	707,01	765,93	1414,02	777,75	824,90
Суммарное время, часов	11,784	12,765	23,567	12,96	13,75
Округленное время, часов	12	13	24	13	14
Округленное время, дней	0,50	0,54	1,00	0,54	0,58
Число элементов в очереди	141401				
Стоимость 1000 запросов к очереди	0,04876				
Использование очереди, рубли	2,02				
Количество воркеров	8				
Количество ядер ВМ	2				
Стоимость часа использования ядра	1,12				
Процентиль/Распределение	50	95	99	Эрланг(2, 0.07)	Эрланг(2, 0.1)
Объем памяти (в Гб)	1				
Стоимость часа использования 1 Гб, рубли	0,39				
Стоимость использования, рубли	254,50	275,54	506,98	275,54	296,58

Сравнение времени работы базового и распределенного конвейеров представлено на рисунке 4. Сравнение стоимости работы базового и распределенного конвейеров представлено на рисунке 5. Также на этих диаграммах представлены столбцы для результатов, полученных в результате моделирования ответов API для распределенного процесса с помощью распределения Эрланга.



Рис. 4. Сравнение общего времени сбора данных для базовой и распределенной модели, часы
Fig. 4. Overall data collection time comparison for simple and distributed models in hours

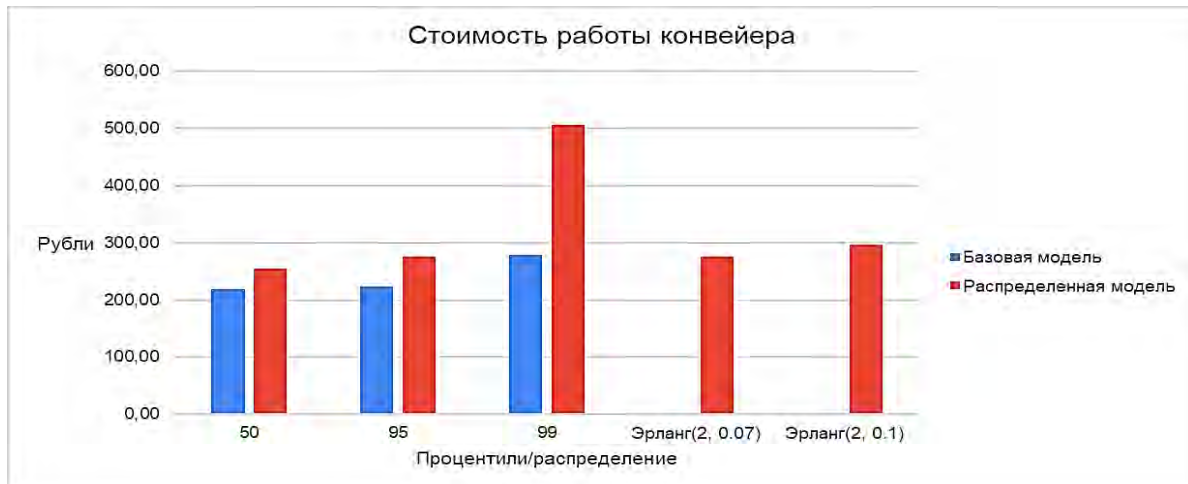


Рис. 5. Сравнение стоимости работы базовой и распределенной модели, рубли
Fig. 5. Overall data collection cost comparison for simple and distributed models, rubles

При сопоставимой общей цене использования, распределенная модель сбора данных значительно выигрывает у обычной модели, основанной на циклах, по критерию времени работы. Однако распределенная модель архитектурно сложнее, поэтому может потребовать более высокого уровня экспертности разработчиков.

Заключение

Таким образом, распределенный процесс сбора данных прекрасно подходит для сбора огромного количества данных в условиях ограничения на частоту доступа к веб-ресурсу:

- в распределенном процессе сбора данных запросы распределяются по множеству узлов при помощи очереди сообщений, что сокращает объем трафика от отдельного узла к некоторому онлайн-ресурсу или API. Это гарантирует, что ограничения на частоту или скорость доступа не будут превышены и что сбор данных может продолжаться без перерывов;
- распределенный конвейер сбора данных позволяет агрегировать данные сразу из нескольких источников, сокращая количество запросов, отправляемых к отдельным API или веб-сайтам;
- распределенный конвейер может горизонтально масштабироваться вверх или вниз по мере необходимости при помощи увеличения или уменьшения количества узлов, обеспечивая большую гибкость при сборе данных. Это означает, что при достижении ограничений могут быть добавлены дополнительные ресурсы для обработки возросшей рабочей нагрузки.
- распределенный процесс сбора данных может обеспечить большую устойчивость данных и избыточность. Если в процессе доступа к API или онлайн-ресурсу процесс выходит из строя или завершается с ошибкой, данный элемент может быть обработан повторно, собран из другого источника или обработан на другом узле.

В целом, распределенный конвейер сбора данных может обеспечить более надежный, эффективный способ сбора данных с различных веб-сайтов и API, избегая проблем, связанных с ограничениями скорости, и обеспечивая большую масштабируемость и устойчивость, обладая при этом сопоставимой стоимостью на час времени.

Список литературы

- Артамонов, Ю. С. 2016. Разработка распределенных приложений сбора и анализа данных на базе микросервисной архитектуры / Ю. С. Артамонов, С. В. Востокин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 4-4. – С. 688-693. – EDN YGSQTV.
- Бочкарева Е.В. 2009. Применение имитационного моделирования для исследования процесса сбора и обработки данных микроконтроллерными устройствами / Е.В. Бочкарева, Л.И. Сучкова, А.Г. Якунин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. - Санкт-Петербург: Изд-во СПбГПУ, 2009. - №3. с. 158-166.

- Государев И. Б. 2020. WEB SCRAPING как программный процесс извлечения и обработки данных в вебе / И. Б. Государев, Н. Н. Жуков, П. А. Бабарицкий // Современное образование: традиции и инновации. – № 1. – С. 146-152. – EDN THLLEG.
- Карпов, Ю. Г. 2005. Имитационное моделирование систем : введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю. Г. Карпов ; Юрий Карпов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – ISBN 5-94157-148-8. – EDN QMPBSH.
- Лейман, А. В, Сучкова Л. И. 2015. Имитационная модель сбора и обработки данных в распределенной системе / А. В. Лейман, Л. И. Сучкова // Ползуновский альманах. – № 1. – С. 45-47. – EDN VLAHSH.
- Лейман А.В., Бочкарева Е.В., Сучкова Л.И. 2015. Имитационная модель распределенных систем сбора и обработки данных / Лейман А.В., к.т.н. Бочкарева Е.В., д.т.н. Сучкова Л.И. // Научный журнал «БЪДЕЩИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ - 2015». София: «Бял ГРАД-БГ» ООД - 96 стр.
- Машенко, Е. Н. 2012. Исследование автоматизированных процессов управления качеством ИТ-сервисов с использованием имитационного моделирования / Е. Н. Машенко, В. И. Шевченко // . – № 125. – С. 142-147. – EDN TPHAFX.
- Оболенский Д.М., Шевченко В.И. 2020. Концептуальная модель интеллектуальной образовательной экосистемы. Экономика. Информатика. 47(2): 390–401. DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-2-390-401.4e4e
- Правила тарификации для Yandex Compute Cloud. 2023. URL:<https://cloud.yandex.ru/docs/compute/pricing>
- Benfield, J. A., & Szlemko, W. J. 2006. Internet-based data collection: Promises and realities. Journal of Research Practice, 2(2), Article D1. Retrieved [date of access] from, <http://jrp.icaap.org/index.php/jrp/article/view/30/51>
- Cooper, Charles & Cooper, Sharon & del Junco, Jesús & Shipp, Eva & Whitworth, Ryan & Cooper, Sara. 2006. Web-based data collection: Detailed methods of a questionnaire and data gathering tool. Epidemiologic perspectives & innovations : EP+I. 3. 1. 10.1186/1742-5573-3-1.
- Eyzenakh, D. S. 2021. High performance distributed web-scraper / D. S. Eyzenakh, A. S. Rameykov, I. V. Nikiforov // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. – Vol. 33, No. 3. – P. 87-100. – DOI 10.15514/ISPRAS-2021-33(3)-7. – EDN SIPWXY.
- Lopez C., Morato D., Magana E., Izal M. 2019. Effective analysis of secure web response time / C. Lopez, D. Morato, E. Magana, M. Izal // TMA 2019 - Proceedings of the 3rd Network Traffic Measurement and Analysis Conference : 3, Paris, 2019. – P. 145-152. – DOI 10.23919/TMA.2019.8784652. – EDN VBOMXZ.
- Tkachyk, D. A. 2018. Software development for collection financial historical data using Web-scraping / D. A. Tkachyk, Yu. P. Noskovenko, O. V. Zaharchuk // 3rd International Conference on Innovations and development patterns in Technical and Natural Sciences, Berlin, 20 апреля 2018 года. – Berlin: Premier Publishing s.r.o. – P. 6-8. – EDN YVPGDJ.

References:

- Artamonov, Yu. S. 2016. Razrabotka raspredelennykh prilozheniy sbora i analiza dannykh na baze mikro-servisnoy arkhitektury / Yu. S. Artamonov, S. V. Vostokin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. – 2016. – T. 18, № 4-4. – S. 688-693. – EDN YGSQTV.
- Bochkareva E.V. 2009. Primenenie imitatsionnogo modelirovaniya dlya issledovaniya protsessa sbora i obrabotki dannykh mikrokontrollernymi ustroystvami / E.V. Bochkareva, L.I. Suchkova, A.G. Yakunin // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. - Sankt-Peterburg: Izd-vo SPbGPU, 2009. - №3. с. 158-166.
- Gosudarev I. B. 2020. WEB SCRAPING kak programmnyy protsess izvlecheniya i obrabotki dannykh v vebe / I. B. Gosudarev, N. N. Zhukov, P. A. Babaritskiy // Sovremennoe obrazovanie: traditsii i innovatsii. – № 1. – S. 146-152. – EDN THLLEG.
- Karpov, Yu. G. 2005. Imitatsionnoe modelirovanie sistem : vvedenie v modelirovanie s AnyLogic 5 / Yu. G. Karpov ; Yuriy Karpov. – SPb. : BKhV-Peterburg, 2005. – ISBN 5-94157-148-8. – EDN QMPBSH.
- Leyman, A. V, Suchkova L. I. 2015. Imitatsionnaya model' sbora i obrabotki dannykh v raspredelennoy sisteme / A. V. Leyman, L. I. Suchkova // Polzunovskiy al'manakh. – № 1. – S. 45-47. – EDN VLAHSH.
- Leyman A.V., Bochkareva E.V., Suchkova L.I. 2015. Imitatsionnaya model' raspredelennykh sistem sbora i obrabotki dannykh / Leyman A.V., k.t.n. Bochkareva E.V., d.t.n. Suchkova L.I. // Nauchnyy zhurnal «B""DEShchITE IZSLEDVANIYA - 2015». Sofiya: «Byal GRAD-BG» OOD - 96 str.
- Mashchenko, E. N. 2012. Issledovanie avtomatizirovannykh protsessov upravleniya kachestvom IT-servisov s ispol'zovaniem imitatsionnogo modelirovaniya / E. N. Mashchenko, V. I. Shevchenko // . – № 125. – S. 142-147. – EDN TPHAFX.
- Obolenskiy D.M., Shevchenko V.I. 2020. Kontseptual'naya model' intellektual'noy obrazovatel'noy ekosistemy. Ekonomika. Informatika. 47(2): 390–401. DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-2-390-401.4e4e



- Pravila tarifikatsii dlya Yandex Compute Cloud. 2023. URL: <https://cloud.yandex.ru/docs/compute/pricing>
- Benfield, J. A., & Szlemko, W. J. 2006. Internet-based data collection: Promises and realities. *Journal of Research Practice*, 2(2), Article D1. Retrieved [date of access] from, <http://jrp.icaap.org/index.php/jrp/article/view/30/51>
- Cooper, Charles & Cooper, Sharon & del Junco, Jesús & Shipp, Eva & Whitworth, Ryan & Cooper, Sara. 2006. Web-based data collection: Detailed methods of a questionnaire and data gathering tool. *Epidemiologic perspectives & innovations* : EP+I. 3. 1. 10.1186/1742-5573-3-1.
- Eyzenakh, D. S. 2021. High performance distributed web-scraper / D. S. Eyzenakh, A. S. Rameykov, I. V. Nikiforov // *Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS*. – Vol. 33, No. 3. – P. 87-100. – DOI 10.15514/ISPRAS-2021-33(3)-7. – EDN SIPWXY.
- Lopez C., Morato D., Magana E., Izal M. 2019. Effective analysis of secure web response time / C. Lopez, D. Morato, E. Magana, M. Izal // *TMA 2019 - Proceedings of the 3rd Network Traffic Measurement and Analysis Conference* : 3, Paris, 2019. – P. 145-152. – DOI 10.23919/TMA.2019.8784652. – EDN VBOMXZ.
- Tkachyk, D. A. 2018. Software development for collection financial historical data using Web-scraping / D. A. Tkachyk, Yu. P. Noskovenko, O. V. Zaharchuk // *3rd International Conference on Innovations and development patterns in Technical and Natural Sciences*, Berlin, 20 апреля 2018 года. – Berlin: Premier Publishing s.r.o. – P. 6-8. – EDN YVPGDJ.

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

Оболенский Денис Михайлович, аспирант кафедры информационных технологий и компьютерных систем Севастопольского Государственного университета, г. Севастополь, Россия

Шевченко Виктория Игоревна, кандидат технических наук, доцент, Заведующий базовой кафедрой «Корпоративные информационные системы» Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Россия

Ченгарь Ольга Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Корпоративные информационные системы» Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Denis M. Obolensky, Postgraduate Student of the Department of Information Technology and Computer Systems, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Victoria I. Shevchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the basic department "Corporate Information Systems", Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Olga V. Chengar, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department "Corporate Information Systems", Sevastopol State University, Sevastopol, Russia