

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

# ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

SCIENTIFIC JOURNAL

# ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES



2022. Том 49, № 2



# ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

## 2022. Том 49, № 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 (05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям); 05.13.17 Теоретические основы информатики; 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. 08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности); 08.00.10 Финансы, денежное обращение и кредит). Журнал зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

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

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

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

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

#### Главный редактор

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

#### Заместитель главного редактора

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

#### Ответственные секретари

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

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

#### Члены редколлегии:

*А.В. Богомолов*, доктор технических наук, профессор (Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил Минобороны России, Москва, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

*А.С. Молчан*, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры бизнес-аналитики (Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия)

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

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

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

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

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

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

ISSN 2687-0932

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

Выходит 4 раза в год.

Выпускающий редактор В.С. Берегова. Корректурa, компьютерная верстка и оригинал-макет Ю.В. Ивахненко. Гарнитура Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Уч.-изд. л. 24,8. Дата выхода 30.06.2022. Оригинал-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

## СОДЕРЖАНИЕ

### РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

- 209 **Бондарева Я.Ю.**  
Исследование феномена пространственной близости регионов РФ
- 217 **Горошко Н.В., Пацала С.В., Емельянова Е.К.**  
Барьеры на пути борьбы с пандемией COVID-19 в системе здравоохранения России и ее регионов
- 234 **Пиньковецкая Ю.С.**  
Оценка уровня автоматизации производственных процессов на промышленных предприятиях в российских регионах

### ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

- 243 **Валова Ю.И., Жмуркин И.М.**  
Информационное обеспечение органов государственной власти РФ
- 256 **Глазков А.А., Абрамов В.И.**  
Перспективы использования смарт-контрактов в развитии бизнес-экосистем
- 268 **Cvetković F.B., Stanković A.Z., Gligorijević J.**  
The Empirical Research of Environmental Protection Significance in the Republic of Serbia

### ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

- 277 **Кучерявенко С.А.**  
Развитие системы менеджмента качества – конкурентное преимущество образовательных организаций
- 285 **Немченко О.А., Качурова Е.В., Гасанова В.А.**  
Аутсорсинг логистических услуг в практике таможенной деятельности
- 294 **Русинов И.А., Чемерис О.С., Алексеенко Н.В., Уами А.**  
Тенденции развития и проблемы регулирования на рынке морских перевозок природного газа
- 308 **Ярошевич Н.Ю., Мигунов В.В.**  
Проблема идентификации продуктовых границ отраслевого рынка промышленной продукции в ОКВЭД: эмпирический подход

### ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

- 327 **Дорофеев М.Л.**  
Анализ проблемы социально-экономического неравенства домохозяйств на уровне стратегического целеполагания развития России

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 339 **Петров Д.В., Жилияков Е.Г., Черноморец Д.А., Болгова Е.В., Черноморец А.А.**  
О выборе размеров прецедента в задаче обнаружения объектов на цифровых изображениях

### СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

- 349 **Паршуков А.Н.**  
Метод оценки эффективности режимов сепарации нефти, газа и пластовой воды
- 356 **Махди Т.Н., Игитян Е.В., Польщиков К.А., Корсунов Н.И.**  
Оценивание эффективности функционирования диалоговой системы на основе применения нечеткого вывода с нейросетевой настройкой
- 375 **Оболенский Д.М., Шевченко В.И.**  
Взаимосвязь дисциплин и компетенций в интеллектуальной образовательной экосистеме
- 383 **Васенёв М.Ю.**  
Информационная система управления лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0»: структура, оценка эффективности
- 394 **Котов А.А.**  
Автоматизация обработки юридических документов на примере правового сопровождения издательской деятельности: задачи и перспективные технологии

### ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 403 **Джамил К.Дж.К., Лихошерстов Р.В., Польщиков К.А.**  
Модель передачи видеопотоков в летающей беспроводной самоорганизующейся сети
- 416 **Волчков В.П., Антипова А.Н.**  
Синтез аналоговых фильтров Гильберта и исследование их характеристик
- 432 **Голощапова В.А., Заливин А.Н., Маматов Е.М., Олейник И.И.**  
Экспериментальные исследования по распознаванию малоразмерных объектов на видеоизображениях при использовании многомерных пространственно-субполосных векторов

**ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES****2022. Volume 49, 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 published (05.13.01 The system analysis, management and information processing (on branches), 05.13.17 Theoretical Foundations of Informatics, 05.13.18 Mathematical modeling numerical methods and program complexes, 08.00.05 Economy and management of a national economy (by branches and spheres of activity in t.ch., 08.00.10 Finance, monetary circulation and credit). The journal is introduced in Russian Science Citation Index (RSCI).

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

Publisher: **Belgorod National Research University «BelSU» Publishing House.**

Address of editorial office, publisher: 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia.

**EDITORIAL BOARD OF JOURNAL****Chief Editor**

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

**Deputy editor-in-chief**

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

**Editorial assistants:**

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

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

**Members of Editorial Board:**

*A.V. Bogomolov*, Doctor of Technical Sciences, Professor (Central Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia)

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

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

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

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

*V.S. Golikov*, Doctor of Technical Sciences, Professor (Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR), Mexico)

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

*A.V. Koskin*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems and Digital Technologies (Oryol State University named after I.S. 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 Kazpotreboyz, Karaganda, Kazakhstan)

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

ISSN 2687-0932

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

Publication frequency: 4 /year

Commissioning Editor V.S. Beregova. Pag Proofreading, computer imposition, page layout by Y.V. Ivakhnenko. Typeface Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Publisher's signature 24,8. Date of publishing 30.06.2022. The layout was prepared by the Department of the joint editorial Board of scientific journals of NRU "BelSU". Address: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

## CONTENTS

### REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

- 209 Bondareva Y.Y.  
Investigation of the Phenomenon of Spatial Proximity of Regions of the Russian Federation
- 217 Goroshko N.V., Patsala S.V., Emelyanova E.K.  
Barriers to Combat the COVID-19 Pandemic in the Healthcare System of Russia and Its Regions
- 234 Pinkovetskaia I.S.  
Assessment of the Level of Automation of Production Processes at Industrial Enterprises in Russian Regions

### INVESTMENT AND INNOVATIONS

- 243 Valova Yu.I., Zhmurkin I.M.  
Information Support of State Authorities of the Russian Federation
- 256 Glazkov A.A., Abramov V.I.  
Prospects for the Use of Smart Contracts in the Development of Business Ecosystems
- 268 Cvetković F.B., Stanković A.Z., Gligorijević J.  
The Empirical Research of Environmental Protection Significance in the Republic of Serbia

### SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

- 277 Kucheryavenko S.A.  
The Development of a Quality Management System is a Competitive Advantage of Educational Organizations
- 285 Nemchenko O.A., Kachurova E.V., Gasanova V.A.  
Outsourcing in Customs Logistics: from Theory to Practice
- 294 Rusinov I.A., Chemeris O.S., Alekseenko N.V., Wami A.  
Development Trends and Regulatory Problems in the Natural Gas Maritime Transportation Market
- 308 Yaroshevich N.Yu., Migunov V.V.  
The Problem of Identifying the Product Boundaries of the Industrial Sector Market in OKVED: an Empirical Approach

### PUBLIC AND BUSINESS FINANCE

- 327 Dorofeev M.L.  
Analysis of the Problem of Household Socio-Economic Inequality at the Level of the Strategic Goal-Setting of the Development of Russia

### COMPUTER SIMULATION HISTORY

- 339 Petrov D.V., Zhilyakov E.G., Chernomorets D.A., Bolgova E.V., Chernomorets A.A.  
On Choosing the Precedent Size in the Problem of Objects Detecting in Digital Images

### SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

- 349 Parshukov A.N.  
Method for Evaluating the Efficiency of Oil, Gas and Reservoir Water Separation Modes
- 356 Mahdi T.N., Igityan E.V., Polshchikov K.A., Korsunov N.I.  
Evaluation of the Dialogue System Efficiency Based on the Application of Fuzzy Inference with Neural Network Settings
- 375 Obolensky D.M., Shevchenko V.I.  
Connection Between Courses and Skills in the Intelligent Educational Ecosystem
- 383 Vasenev M.Yu.  
**Harvesting Management Information System Within the Frameworks of the «Industry 4.0»: Structure, Estimate of Efficiency**
- 394 Kotov A.A.  
Automating the Processing of Legal Documents on the Example of Legal Support for Publishing: Tasks and Promising Technologies

### INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

- 403 Jameel K.J.O., Likhoshevstov R.V., Polshchikov K.A.  
Model of Video Streams Transmission in a Flying Ad Hoc Network
- 416 Volchkov V.P., Antipova A.N.  
Synthesis of Analog Hilbert Filters and Research of Their Characteristics
- 432 Goloshapova V.A., Zalivin A.A., Mamatov E.M., Oleynik I.I.  
Experimental Studies on the Recognition of Small-Sized Objects in Video Images Using Multidimensional Spatial-Subband Vectors

# РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

## REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

УДК 332.025+332.12+338.2  
DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-209-216

### Исследование феномена пространственной близости регионов РФ

**Бондарева Я.Ю.**

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

**Аннотация.** В статье изучены зарубежные и российские подходы к исследованию пространственной и непространственной близости регионов, являющиеся предпосылками для создания межрегионального взаимодействия, перетоков знаний, капиталов, технологий, а также эффективного экономического роста регионов России. Применен методический подход к расчету и визуализации пространственной/географической близости субъектов РФ к Белгородской области. Полученная в ходе расчетов типология пространственной близости субъектов РФ относительно Белгородской области в полной мере не раскрывает все потенциальные каналы перетоков знаний, капиталов, технологий. Рассмотрены разные виды непространственной близости и выявлены наиболее благоприятные предпосылки для активизации межрегионального взаимодействия, которые, на наш взгляд, могут возникнуть на основе принципа взаимодополняемости. Определение значимости и степени влияния различных видов близости показало, что пространственная близость в сопряженности с непространственной дает толчок к созданию кластерных структур, формирует сетевое взаимодействие и другие интеграционные формы регионального взаимодействия.

**Ключевые слова:** пространственная близость, непространственная близость, перетоки знаний, капитала, технологий, межрегиональное взаимодействие, сетевые структуры

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

**Для цитирования:** Бондарева Я.Ю. 2022. Исследование феномена пространственной близости регионов РФ. Экономика. Информатика, 49(2): 209–216. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-209-216

### Investigation of the Phenomenon of Spatial Proximity of Regions of the Russian Federation

**Yana Yu. Bondareva**

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

**Abstract.** The article examines foreign and Russian approaches to the study of the spatial and non-spatial proximity of regions, which are prerequisites for creating interregional interaction, knowledge, capital, technology flows, as well as effective economic growth of Russian regions. A methodical approach has been applied to the calculation and visualization of the spatial/geographical proximity of the subjects of the Russian Federation to the Belgorod region. The typology of the spatial proximity of the subjects of the Russian Federation with respect to the Bel-



gorod region, obtained in the course of calculations, does not fully reveal all the potential channels for the flow of knowledge, capital, and technology. Various types of non-spatial proximity are considered and the most favorable prerequisites for enhancing inter-regional cooperation, which, in our opinion, can arise on the basis of the principle of complementarity, are identified. Determining the significance and degree of influence of various types of proximity showed that spatial proximity in conjunction with non-spatial one gives impetus to the creation of cluster structures, forms network interaction and other integration forms of regional interaction.

**Keywords:** spatial proximity, non-spatial proximity, knowledge, capital, technology flows, interregional interaction, network structures

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

**For citation:** Bondareva Y.Y. 2022. Investigation of the Phenomenon of Spatial Proximity of Regions of the Russian Federation. Economics. Information technologies, 49(2): 209–216 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-209-216

---

## Введение

Современный научный подход в изучении процессов формирования и функционирования национальной экономики рассматривает социально-экономическую систему страны как сеть взаимодействующих регионов. Необходимо отметить, что данное взаимодействие основано на конкуренции и сотрудничестве в условиях новых вызовов в глобальном пространстве, а также постоянных ресурсных и технологических изменений.

При изучении закономерностей региональных экономик выявляются отличия по ряду признаков, в том числе в распределении природных и экономических ресурсов, что в свою очередь подтверждает актуальность формирования пространственно-сетевое взаимодействие регионов.

В связи с возникающими политическими и экономическими вызовами Российской Федерации, а также для решения стратегических задач по созданию единого экономического пространства необходимо активно развивать механизмы интеграции регионов с учетом их особенностей. Важно изучить возможность создания новых связей и влияние на них пространственной, структурно-технологической близости, социально экономических условий, специализации территорий и т. д.

Подчеркивая важность формирования единого инновационного пространства, необходимо развивать механизмы сетевого взаимодействия на межрегиональном уровне, разрабатывать перспективные направления экономик регионов и их механизмов интеграции в национальное пространство.

Научная обоснованность теоретических и эмпирических исследований предполагает, что на эффективное социально-экономическое развитие регионов влияет пространственная и непространственная близость территорий. Большое влияние оказывают процессы, связанные с перетоками знаний, капитала, технологий и т. д. Регионы, как мозаика, состоят из уникального набора ресурсов и инфраструктуры, формальных и неформальных связей, специфической институциональной структуры, специализации. С учетом вышеизложенного, необходимо изучить и проанализировать иностранные и российские исследования в области пространственной и непространственной близости, провести измерения и визуализацию географической, пространственной близости.

Исследования Р. Бошма подтверждают тот факт, что наряду с географической близостью большое влияние на пространственно-сетевое взаимодействие влияют и другие виды непространственной близости [Boschma, 2015]. Выделяют институциональную, когнитивную, организационную и социальную близости, которые в свою очередь создают движение потоков знаний, капитала, технологий в сетях без привязки к географическому расстоянию. Теория близости постепенно занимает особое место в ряде теорий, описывающих взаимодействие регионов. Ключевая роль в современных условиях возлагается на когнитивную близость, которая в контексте

экономики цифровизации способна заменить или дополнить географическую близость и усилить или изменить роль других форм близости [Lyshchikova, 2022].

Остается открытым вопрос, какой вид близости имеет больше влияния на социально-экономическое развитие регионов, рост экономики территории. Какой вид пространственной или непространственной близости позволяет эффективно интегрировать знания, технологии, капитал извне. В работах Р. Морено отмечается, что без связи с географической близостью технологическая близость не влияет на инновационную деятельность [Moreno-Serrano, 2005]. Исследования, проводимые Карагли А. и Нейкамп П. [Caragliu, 2015], подтверждают неоднородность влияния пространственных, когнитивных, технологических и социальных каналов близости. Вопросами пространственной и непространственной близости занимались такие зарубежные исследователи, как Лос А., Кресченци Р., Морокку Е., Карагли и Нейкамп П. [Los, 2018; Crescenzi, 2013; Marrocu, 2013; Caragliu, Nijkamp, 2015]. Отечественными исследователями феномен видов близости и их влияние на создание пространственно-сетевых форм регионального взаимодействия не получили заметного теоретического и эмпирического исследования. Можно выделить отдельные исследования по изучению влияния пространственной близости на социально-экономический рост, региональное инновационное развитие [Aldieri, 2017; Kaneva, Untura, 2017].

Таким образом, цель исследования состоит в изучении пространственной и непространственной близости, влияние на создание пространственно- сетевого взаимодействия регионов, измерение и визуализация пространственной близости, создание картографической визуализации пространственной близости.

### Объекты и методы исследования

На основе эволюционного, системного, институционального и диагностического подходов использованы экономико-статистический, картографический методы анализа. На примере Белгородской области выполнены методические приемы измерения и визуализации пространственной близости рассматриваемого региона по отношению к другим регионам РФ с использованием географической информационной системы «ГЕОМИКС».

### Результаты и их обсуждение

С позиции региональных исследований создание эффективных межрегиональных потоков, позволяющих компенсировать нехватку знаний, инновационных разработок, технологий и капитала является важной задачей для достижения прорывного экономического роста. На сегодняшний день в рамках концепции современной экономической географии, пространственной эконометрики перетоки разного рода ресурсов, в том числе знаний изучаются по средствам пространственной близости. Под влиянием пространственной близости регионов ресурсы пересекают границы в разных формах. Конечно, эти явления происходят в условиях конкурентного предложения при наличии спроса и заинтересованности в сотрудничестве в той или иной сфере. Есть понимание, того что пространственная близость снижает трансакционные издержки, позволяет сократить время принятия решения, так как эффективный пример хозяйствования находится «перед глазами».

Существует несколько методик расчета пространственной близости, так, можно измерить разными метриками, построить матрицы расстояний, а также применить индекс доступности (1):

$$f(c_{ij}) = \frac{\frac{1}{a_{ij}}}{\sum_i \frac{1}{a_{ij}}}. \quad (1)$$

На наш взгляд, более удобный метод расчета состоит в построении матрицы расстояний  $W$ , при этом коэффициенты матрицы можно рассчитать разными методами [Crescenzi, 2013; Marrocu, 2013; Los, 2018]. Возможно построить матрицу «соседства» регионов, показатель 1 – приграничные территории (общая граница), 0 – общая граница отсутствует, террито-



риально удаленные регионы. Могут возникнуть риски при расчете, если использовать разные спецификации моделей, а также метрики расстояний между территориями, регионами. Необходимо определиться с выбором меры измерения близости. Так, выбор меры измерения происходит по следующим параметрам: расстояние, плотность, институциональная среда, специализация и т. д. В статье рассмотрим коэффициенты близости в диапазоне от 0 до 1, то есть непосредственная близость или ее полное отсутствие.

$$W_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } i = j \\ 1, & \text{если } i \text{ граничит с } j \\ 0, & \text{если } j \text{ не граничит с } j \end{cases} \quad (2)$$

Матрица пространственной близости построена на основе расстояний между административными центрами субъектов РФ.

Рассмотрим несколько методических приемов, способных измерить и представить пространственную близость с помощью картографического изображения. Необходимо последовательно пройти несколько этапов:

1. Выбор показателя для расчета конкретного вида близости, например, для пространственной близости этот показатель – расстояние;
2. Обоснование метрики расстояния;
3. Определение формы близости, в нашем случае это пространственная / географическая близость;
4. Расчет матрицы  $W$ ;
5. Выбор карты с выделением объектов исследования (регионы, федеральные округа, субъекты РФ и т. д.) с указанием границ;
6. Визуализация полученных расчетов (использование картографических приемов на основе коэффициентов матрицы  $W$ ).
7. Выдвижение гипотезы проводимого исследования.

Проводимое исследование базируется на измерении и визуализации географической близости выбранного нами субъекта РФ, а конкретно Белгородской области в сравнении с остальными регионами страны. Так, на карте Белгородская область визуализируется со значением 1. Таким образом, на основе имеющейся информации о пространственной доступности регионов РФ были проведены расчеты матрицы пространственной близости.

По результатам расчета была сформирована и проанализирована типология пространственной близости Белгородской области, показавшая, что наиболее географически близко расположены Курская, Воронежская области. Есть и определенная специфика, т. к. область является приграничной и часть территорий не имеет границ с областями Российской Федерации. По этой причине пространственная близость имеет неполный ареал прямого приграничного соседства. Но несмотря на вышеуказанный факт, в ареал соседства входят Брянская, Орловская, Липецкая, Тамбовская области, которые физически чуть более удалены от анализируемого региона. Перечисленные области, не имеющие прямых границ, то есть не являющиеся прямым регионом-соседом, но расположенные на сравнительно небольшом расстоянии, являются наиболее перспективными в развитии пространственно-сетевом взаимодействии.

Таким образом, анализируя рис. 1, Белгородская область, входящая в состав Центрального федерального округа, географически находится в выгодном соседстве с ведущими регионами РФ. Но на наш взгляд, полученная в ходе расчётов типология пространственной близости субъектов РФ относительно Белгородской области в полной мере не раскрывает все потенциальные каналы перетоков знаний, капиталов, технологий, формирования эффективных сетевых взаимодействий. Тесное соседство не всегда гарантирует эффективное взаимодействие. Пространственная близость экономических агентов не обязательно приводит к эффективным перетокам знаний. В современных условиях пространство уже не работает само по себе – и особенно там, где дело касается инновационных процессов. Расстояния эффективно могут преодолеваются за счет социальных, культурных и прочих внепространственных факторов.

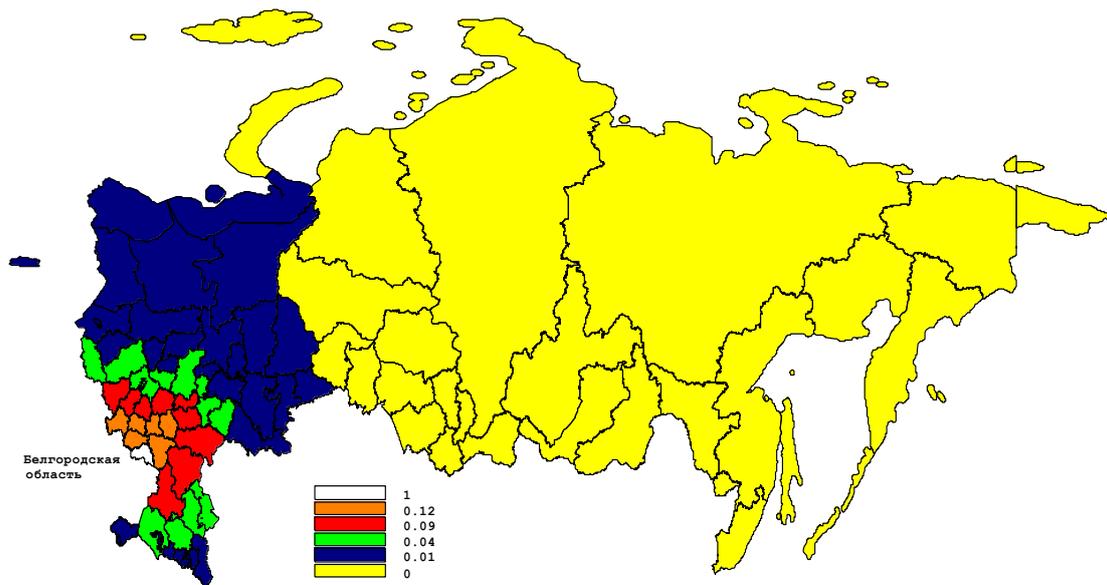


Рис. 1. Карта типологии пространственной близости субъектов РФ к Белгородской области  
Fig. 1. Map of the typology of the spatial proximity of the constituent entities of the RF to the Belgorod region

При изучении влияния пространственной близости и визуализации результатов исследования возникает много вопросов, связанных с наличием или отсутствием влияния иных видов близости на формирование пространственно-сетевых форм взаимодействия. Необходимо определить и изучить все существующие виды близости, а также факторов, влияющих на экономический рост территорий. Наиболее эффективным является совокупность, взаимодополняемость разных видов близости. Предполагается, что расчет и визуализация типологий непространственных видов близости выявит существенные различия с пространственной типологией близости регионов. Пространственная близость регионов остается неизменной, а непространственные виды близости меняются во времени и усиливаются для инновационно развитых регионов. В продолжении исследования феномена теории близости планируется расчет и визуализация типологии структурно-технологической близости субъектов РФ для Белгородской области и ее сравнение с полученными результатами типологии географической близости.

Современные исследования в изучении перетоков знаний, капитала, технологий и непространственных видов близости регионов имеют интересные результаты. Анализ связей экономического роста, перетоков знаний, капитала, технологий, вызванных пространственными и непространственными видами близости, может дать обобщенное видение новых возможностей межрегионального взаимодействия (рис. 2).

Выявление значимости и степени влияния различных видов близости показал, что пространственная близость в сопряженности с непространственной дает толчок к созданию кластерных структур, формирует сетевое взаимодействие и другие интеграционные формы регионального взаимодействия.

Для полноты исследования рассмотрим отдельные виды непространственной близости, такие как когнитивная, структурно-технологическая, институциональная и социальная близости. Когнитивная близость представляет собой явление, основанное на когнитивном капитале по Р. Бошма [Boschma, 2015]. Можно сделать вывод, что два вида деятельности когнитивно близки в том случае, если в них используют компетенции, навыки на основе единой базы знаний. Применяя опыт регионов с высокими показателями в тех или иных сферах деятельности, агенты должны быть готовы к этому опыту, то есть когнитивно близки, иметь возможность для взаимодополняемости навыков, компетенций и взаимного обучения. Наличие когнитивной близости между регионами, отраслями позволяет формировать более устойчивые и эффективные связи, формирует прочные сети взаимодействия, способствует экономическому росту территорий.

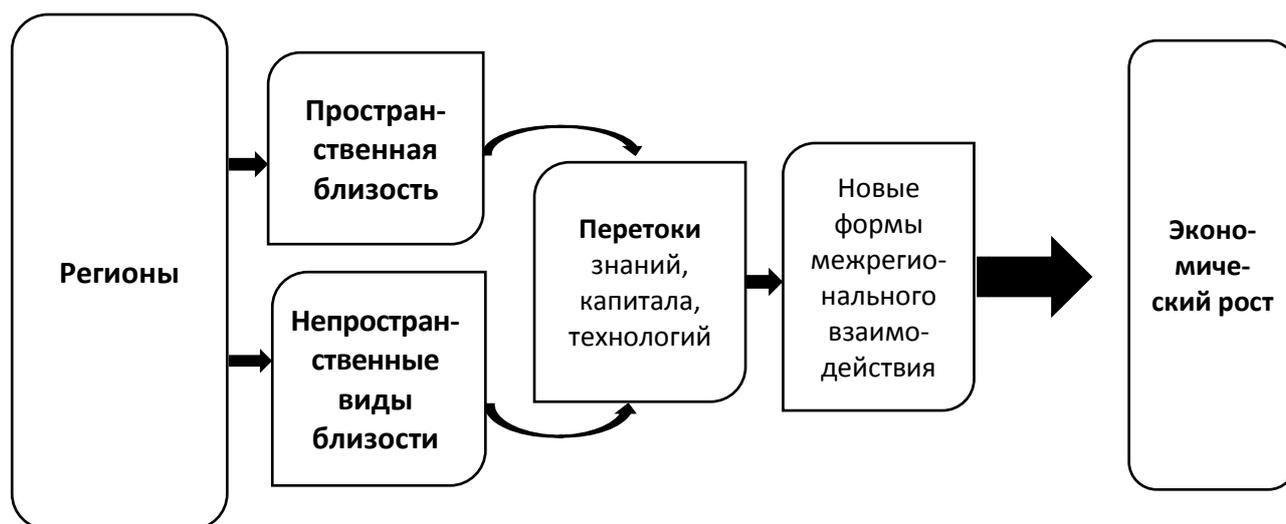


Рис. 2. Виды близости и их место в схеме моделирования процессов, влияющих на экономический рост

Fig. 1. Types of Proximity and Their Place in the Modeling Scheme of Processes Affecting Economic Growth

Структурно-технологическая близость является наиболее эффективной при распространении знаний, технологий между регионами со схожей технологической парадигмой [Crescenzi, 2013; Marrocu, 2013], структурой отраслевых секторов экономики. Между регионами возможно более результативное сотрудничество, если их интересы, научные изыскания в тех же или смежных технологических областях совпадают и имеются явные сходства в промышленной и экономической деятельности. Структурно-технологическая близость позволяет развивать новые знания, формировать прорывные идеи в диверсифицированной экономике, тем самым выводя регионы на новый уровень экономического роста. Оценка показателя структурно-технологической близости основывается на доле хозяйственной деятельности в общем объеме валовой добавленной стоимости [Peshina, 2020]. При расчете данного показателя вводится матрица структурно-технологической близости, которая показывает близость структуры хозяйственной деятельности по отраслевым технологиям в регионе. Структура хозяйственной, экономической деятельности рассматривается по классификации ОКВЭД для заданного количества регионов. Рассчитанные показатели с помощью картографической визуализации фиксируются на «персональной» карте потенциала перетока знаний, капитала, технологий региона. Аналогичные расчеты можно провести по различным видам непространственной близости и для любого региона.

Возможно проведение расчетов различных матриц близости и их использование в различных экономических исследованиях. С помощью рассмотренной методики возможно проведение анализа и проверка гипотез о влиянии пространственных и непространственных форм близости на экономический рост регионов, потенциал и возможности по созданию новых сетевых механизмов взаимодействия.

### Заключение

Сложная структура отраслевых производств в разных регионах, их специфические особенности, а также географическое положение территорий оказывают серьезное влияние на возможности формирования эффективных условий для межрегионального взаимодействия. Безусловно, рассматриваемые вопросы нужно изучать, выявлять проблемы и решать их. Влияние пространственной и непространственной близости на перетоки знаний, капитала, технологий является установленным фактом, но изучение степени влияния для каждого субъекта РФ и новых возможностей территорий – вопрос открытый.

Пространственная организация, обустройство территории государства – основное и перспективное направление в процессе формирования устойчивого экономического роста.

Важным направлением экономической политики является организация и стимулирование перетоков знаний, капитала, технологий между регионами страны. Возникающие тенденции потенциальных перетоков знаний, капитала, технологий из крупных научных центров на периферию являются задачей государственного масштаба.

### Список источников

Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года. (с изменениями на 16 декабря 2021 года) URL: <https://docs.cntd.ru/document/552378463/> (дата обращения: 25 мая 2022).

### Список литературы

- Березиков С.А., Цукерман В.А. 2015. Теоретико-методологические подходы к исследованию процесса технологической трансформации территорий Арктики минерально-сырьевой направленности. *Экономика в промышленности*, 2: 47–52.
- Канева М.А., Унтура Г.А., Морощкина О.Н. 2020. Феномен структурно-технологической близости и перетоки знаний в регионах России. *Экономика региона*, 16 (4): 1254–1271.
- Клейнер Г.Б., Рыбачук М.А. 2019. Системная сбалансированность экономики России. Региональный разрез. *Экономика региона*, 15 (2): 309–323.
- Пешина Э.В. Авдеев П.А. 2013. Формирование валовой добавленной стоимости высокотехнологичной и наукоемкой продукции (товаров, услуг). *Известия УрГЭУ*, 6 (50): 46–56.
- Татаркин А.И. 2016. Региональная направленность экономической политики Российской Федерации как института пространственного обустройства территорий. *Экономика региона*, 1: 9–27.
- Унтура Г.А., Канева М.А., Заболотский А.А. 2019. Влияние науки, инноваций и концентрации производства на экономический рост регионов России. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*, 12 (15): 2327–2343.
- Aldieri L., Kotsemir M.N., Vinci C.P. 2017. Knowledge spillover effects: empirical evidence from Russian regions. *Quality and Quantity*, 52: 2111–2132. <https://doi.org/10.1007/s11135-017-0624-2>.
- Boschma R. 2015. Proximity and innovation: a critical assessment. *Regional Studies*, 39: 61–74.
- Caragliu A., Nijkamp P. 2015. Space and knowledge spillovers in European regions: the impact of different forms of proximity on spatial knowledge diffusion. *Journal of Economic Geography*, 16 (3): 1–26.
- Crescenzi R. 2013. Changes in economic geography theory and dynamics of technological change. *Handbook of Regional Science*. Eds. M. M. Fischer, P. Nijkamp. Berlin: Springer-Verlag: 649–666.
- Faggian, A. & McCann, P. 2009. Human capital, graduate migration and innovation in British regions. *Cambridge Journal of Economics*, 33: 317–333.
- Kaneva M., Untura G. 2017. Innovation indicators and regional growth in Russia // *Economic Change and Restructuring*, 50 (2): 13–159.
- Kaneva M., Untura G. 2017. The impact of R&D and knowledge spillovers on the economic growth of Russian regions. *Growth and Change*, 50: 301–334.
- Los B. 2018. The empirical performance of a new inter-industry technology spillover measure P. P. Saviotti, B. Nooteboom eds. *Technology and knowledge; from the firm to innovation systems*. London: Edward Elgar Publishing: 118–151.
- Lyshchikova J.V. 2022. Interregional interaction in the conditions of digitalization: analysis of programmes of the European Union (EU) for supporting cooperation across borders in the context of the proximity theory development. *Revista Relações Internacionais do Mundo Atual*, 1(34): 98–116.
- Marrocu E., Paci R., Usai S. 2013. Proximity, networking and knowledge production in Europe: what lessons for innovation policy? *Technological Forecasting and Social Change*, 80: 1484–1498.
- Moreno-Serrano, R., Paci, R. & Usai, S. 2005. Geographical and sectoral clusters of innovation in Europe. *The Annals of Regional Science*, 39: 715–739.
- Schurmann, C. & Talaat, A. 2000. Towards a European peripherally index. Report for General Directorate XVI Regional Policy of the European Commission. Dortmund: IRPUD, 48.

### References

- Berezikov, S.A. & Tsuckerman, V.A. 2015. Teoretiko-metodologicheskie podhody k issledovaniyu processa tekhnologicheskoy transformacii territorij Arktiki mineral'no-syr'evoy napravlenosti [Theoretical and methodological approaches to the study of the process of mineral resources oriented technological transformation of the Arctic]. *Ekonomika v promyshlennosti*, 2: 47–52.



- Kaneva M.A., Untura G.A., Moroshkina O.N. 2020. Fenomen strukturno-tehnologicheskoy blizosti i peretoki znaniy v regionah Rossii [The Phenomenon of Structural and Technological Proximity and Knowledge Flows in Russian Regions]. *Ekonomika regiona*, 16 (4): 1254-1271.
- Kleiner G.B. & Rybachuk M.A. 2019. Sistemnaya sbalansirovannost' ekonomiki Rossii. Regional'nyj razrez. [System Balance of the Russian Economy: Regional Perspective]. *Ekonomika regiona*, 15(2): 309–323.
- Peshina, E.V. & Avdeev, P.A. 2013. Formirovanie valovoj dobavlennoj stoimosti vysokotekhnologichnoj i naukoemkoj produkcii (tovarov, uslug) [Formation of the Value Added of High-Tech and Knowledge-Intensive Products (Goods, Services)]. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 6 (50): 46–56.
- Tatarkin, A.I. 2016. Regional'naya napravlennost' ekonomicheskoy politiki Rossijskoj Federacii kak instituta prostranstvennogo obustrojstva territorij [Regional Targeting of the Economic Policy of the Russian Federation as an Institution of Regional Spatial Development]. *Ekonomika regiona*, 1: 9–27. (In Russ.)
- Untura G.A., Kaneva M.A. & Zabolotskii A.A. 2019. [The impact of science, innovation and concentration of production enterprises on the economic growth in the Russian regions]. *Natsionalnye interesy: priority i bezopasnost*, 12 (15): 2327–2343.
- Aldieri L., Kotsemir M.N., Vinci C.P. 2017. Knowledge spillover effects: empirical evidence from Russian regions. *Quality and Quantity*, 52: 2111–2132. <https://doi.org/10.1007/s11135-017-0624-2>.
- Boschma R. 2015. Proximity and innovation: a critical assessment. *Regional Studies*, 39: 61–74.
- Caragliu A., Nijkamp P. 2015. Space and knowledge spillovers in European regions: the impact of different forms of proximity on spatial knowledge diffusion. *Journal of Economic Geography*, 16 (3): 1–26.
- Crescenzi R. 2013. Changes in economic geography theory and dynamics of technological change. *Handbook of Regional Science*. Eds. M. M. Fischer, P. Nijkamp. Berlin: Springer-Verlag: 649–666.
- Faggian, A. & McCann, P. 2009. Human capital, graduate migration and innovation in British regions. *Cambridge Journal of Economics*, 33: 317–333.
- Kaneva M., Untura G. 2017. Innovation indicators and regional growth in Russia. *Economic Change and Restructuring*, 50 (2): 13–159.
- Kaneva M., Untura G. 2017. The impact of R&D and knowledge spillovers on the economic growth of Russian regions. *Growth and Change*, 50: 301–334.
- Los B. 2018. The empirical performance of a new inter-industry technology spillover measure P. P. Saviotti, B. Nooteboom eds. *Technology and knowledge; from the firm to innovation systems*. London: Edward Elgar Publishing: 118–151.
- Lyshchikova J.V. 2022. Interregional interaction in the conditions of digitalization: analysis of programmes of the European Union (EU) for supporting cooperation across borders in the context of the proximity theory development. *Revista Relações Internacionais do Mundo Atual*, 1(34): 98-116.
- Marrocu E., Paci R., Usai S. 2013. Proximity, networking and knowledge production in Europe: what lessons for innovation policy? *Technological Forecasting and Social Change*, 80: 1484–1498.
- Moreno-Serrano, R., Paci, R. & Usai, S. 2005. Geographical and sectoral clusters of innovation in Europe. *The Annals of Regional Science*, 39: 715–739.
- Schurmann, C. & Talaat, A. 2000. Towards a European peripherally index. Report for General Directorate XVI Regional Policy of the European Commission. Dortmund: IRPUD, 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

**Бондарева Яна Юрьевна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Yana Y. Bondareva**, PhD in Economics, Associate Professor; Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 332.1+338.46+614.1+614.2  
DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-217-233

## Барьеры на пути борьбы с пандемией COVID-19 в системе здравоохранения России и ее регионов

<sup>1, 2)</sup> Горошко Н.В., <sup>1)</sup> Пацала С.В., <sup>2)</sup> Емельянова Е.К.

<sup>1)</sup> Новосибирский государственный педагогический университет,  
Россия, 630126, г. Новосибирск, ул. Вилюйская, 28

<sup>2)</sup> Новосибирский государственный медицинский университет,  
Россия, 630091, г. Новосибирск, Красный проспект, 52  
E-mail: goroshko1@mail.ru, s-pacala@mail.ru, emelen1@mail.ru

**Аннотация.** Пандемия COVID-19 привела к перенапряжению в работе как глобальной, так и национальных систем здравоохранения, неизбежно провоцируя изъяны в оказании медицинских услуг. Дезорганизация на период пандемии становится угрозой недополучения своевременной квалифицированной помощи населением, что является фактором риска роста смертности. При этом национальные системы здравоохранения большинства стран мира столкнулись с проблемой доступности медицинской помощи населением, дефицитом кадров, мощностей медицинских учреждений, оборудования и средств защиты, вынужденной приостановкой оказания плановых услуг. Цель исследования – выявить главные вызовы российской системе здравоохранения в условиях пандемии COVID-19. В настоящее время в РФ стали заметны негативные проявления, ухудшающие состояние здоровья, в первую очередь такие как условия и образ жизни, медицинское обеспечение, что не могло не отразиться на росте смертности населения. В условиях чрезвычайной ситуации, когда возросла нагрузка на систему здравоохранения, стоит предположить, что «вклад» медицинского обеспечения в состояние здоровья населения на данном этапе превысил «отводимые» ему 10–15 %. Реализуемая в последние годы в стране оптимизация системы здравоохранения спровоцировала появление ряда проблем, обострившихся в эпоху пандемии COVID-19. В результате исследования выделены предпосылки для возникновения трудностей в преодолении течения пандемии в России: предшествующее пандемии сокращение инфекционных коек, объединение и оптимизация лечебно-профилактических учреждений, снижение расходов государства на здравоохранение, дефицит кадров, повышенная нагрузка на медицинских работников, неравенство в доступе к качественной охране здоровья в разных регионах, в том числе из-за географических особенностей.

**Ключевые слова:** система здравоохранения, пандемия COVID-19, коронавирусная инфекция COVID-19, возбудитель SARS-CoV-2, основные проблемы сферы здравоохранения

**Для цитирования:** Горошко Н.В., Пацала С.В., Емельянова Е.К. 2022. Барьеры на пути борьбы с пандемией COVID-19 в системе здравоохранения России и ее регионов. Экономика. Информатика, 49(2): 217–233. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-217-233

---

## Barriers to Combat the COVID-19 Pandemic in the Healthcare System of Russia and Its Regions

<sup>1, 2)</sup> Nadezhda V. Goroshko, <sup>1)</sup> Sergey V. Patsala, <sup>2)</sup> Elena K. Emelyanova

<sup>1)</sup> Novosibirsk State Pedagogical University,  
28 Vilyuiskaya str., Novosibirsk, 630126, Russia

<sup>2)</sup> Novosibirsk State Medical University,  
52 Krasny Prospekt, Novosibirsk, 630091, Russia

E-mail: goroshko1@mail.ru, s-pacala@mail.ru, emelen1@yandex.ru

**Abstract.** The COVID-19 pandemic has strained both global and national health systems, inevitably causing gaps in health care delivery. Disorganization during a pandemic becomes a threat of a shortage of timely



qualified assistance to the population, which is a risk factor for an increase in mortality. At the same time, the national healthcare systems of most countries of the world faced the problem of access to medical care for the population, a shortage of personnel, capacities of medical institutions, equipment and protective equipment, and a forced suspension of the provision of planned services. The purpose of the study is to identify the main challenges to the Russian healthcare system in the context of the COVID-19 pandemic: Currently, in the Russian Federation, negative manifestations have become noticeable that worsen the state of health, in the first place, such as conditions and lifestyle, medical care, which could not but affect the increase in mortality. In an emergency, when the burden on the healthcare system has increased, it is worth assuming that the “contribution” of medical support to the state of health of the population at this stage exceeded the “allotted” 10–15%. The optimization of the healthcare system implemented in the country in recent years has provoked the emergence of a number of problems that have aggravated in the era of the COVID-19 pandemic: As a result of the study, the prerequisites for the emergence of difficulties in overcoming the course of the pandemic in Russia were identified: the reduction in infectious beds preceding the pandemic, the merger and optimization of medical institutions, the reduction in government spending on health care, the shortage of personnel, the increased burden on medical workers, the inequality in access to high-quality protection health in different regions, including due to geographical features.

**Keywords:** healthcare system, COVID-19 pandemic, COVID-19 coronavirus infection, SARS-COV-2 pathogen, main healthcare problems

**For citation:** Goroshko N.V., Patsala S.V., Emelyanova E.K. 2022. Barriers to Combat the COVID-19 Pandemic in the Healthcare System of Russia and Its Regions. *Economics. Information technologies*, 49(2): 217–233 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-217-233

## Введение

Пандемия COVID-19 привела к перенапряжению в работе как глобальной, так и национальных систем здравоохранения, неизбежно провоцируя изъяны в оказании медицинских услуг. Дезорганизация на период пандемии становится угрозой недополучения своевременной квалифицированной помощи населением, что является фактором риска роста смертности. В условиях пандемии национальные системы здравоохранения большинства стран мира столкнулись с проблемой доступности медицинской помощи населением.

2020 год прервал сложившуюся в последние несколько лет положительную тенденцию снижения смертности населения в России. Если в 2017 году число смертей в нашей стране сократилось по сравнению с предыдущим годом на 65 тыс., в 2019 году – на 31 тыс., то в 2020 году общая смертность увеличилась на более чем 340 тыс., достигнув 2,1 млн человек [Россия в цифрах, 2021].

Рост смертности связан со специфическими обстоятельствами, связанными с коронавирусной инфекцией COVID-19. Число умерших в 2020 году составило 144 691 человек или 98,8 на 100 000 человек населения. Средний возраст смерти от коронавирусной инфекции составил 72,41 года [Демографический ежегодник России, 2021].

Причины смертности населения от коронавирусной инфекции были как прямыми, вызванными возбудителем SARS-CoV-2, так и косвенными – на уровень смертности, среди прочего, влияние оказывали качество и доступность медицинской помощи, определяемые размером государственных расходов.

Роль системы здравоохранения в укреплении здоровья населения обратно пропорциональна доступности и качеству медицинской помощи в стране. В условиях ограниченности финансирования и, как следствие, низкой доступности и качества медицинской помощи, удельный вес фактора медицинского обеспечения в сохранении и укреплении здоровья населения значительно возрастает [Стародубов, 2015].

В условиях пандемии COVID-19 стали заметны негативные проявления, ухудшающие состояние здоровья, в первую очередь такие группы факторов, как условия и образ жизни, а также медицинское обеспечение, что не могло не отразиться на росте смертности населения.

В условиях чрезвычайной ситуации, когда возросла нагрузка на систему здравоохранения, стоит предположить, что «вклад» медицинского обеспечения в состояние здоровья населения на данном этапе превысил отводимые ему 10–15 %.

Цель исследования – выявить главные вызовы российской системе здравоохранения в условиях пандемии COVID-19.

### Методы исследования

Исследование опирается на информационную базу, сформированную данными демографической и медицинской статистики (аналитический бюллетень НИУ ВШЭ, демографический ежегодник России, материалы Федеральной службы государственной статистики, ВОЗ, постановления правительства РФ), а также на анализ актуальных научных публикаций. В работе использовались общелогические и аналитические методы, методы статистического анализа и эмпирического исследования.

### Результаты исследования

Заболеваемость COVID-19 в 2020 году в России составила 33,9 случая на 10 000 человек населения. Региональные различия существенны, размах вариации достигает 17 раз (рис. 1).

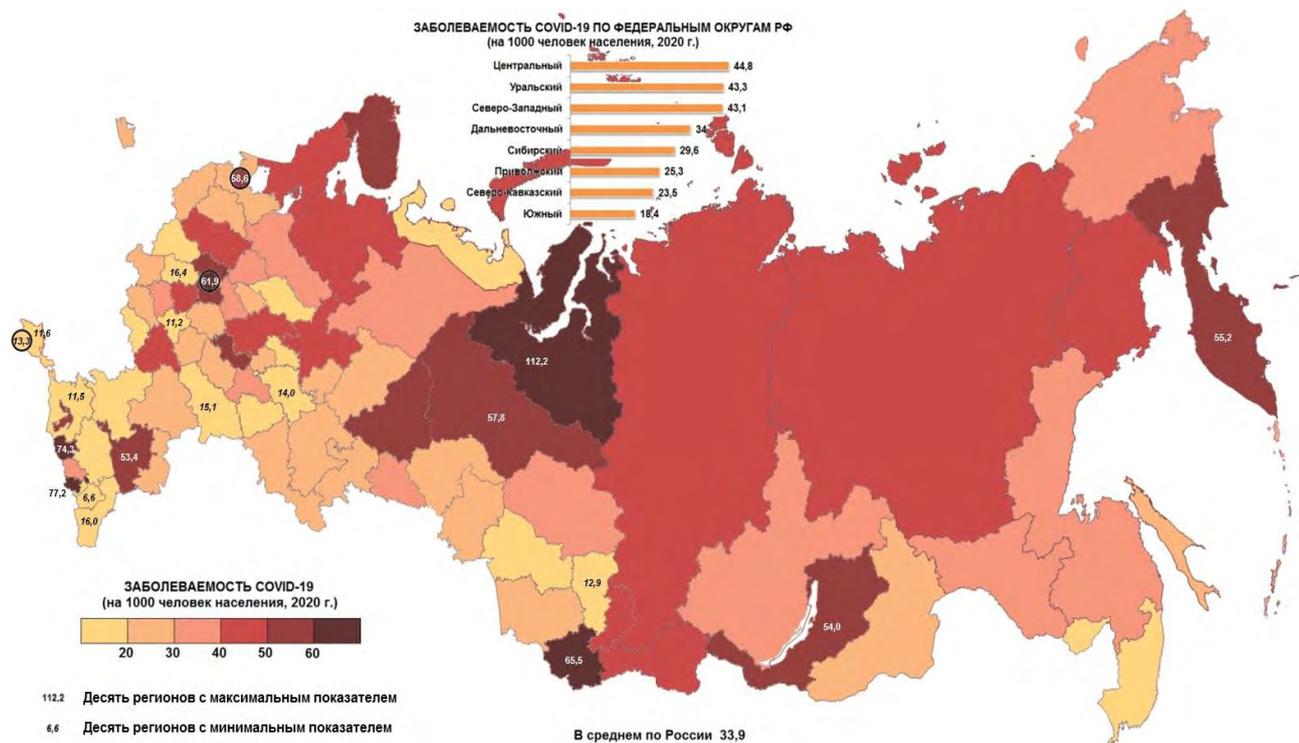


Рис. 1. Заболеваемость COVID-19 на 1000 человек населения  
(составлено авторами по [Здравоохранение...])  
Fig. 1. The incidence of COVID-19 per 1000 population  
(compiled by the authors under [Healthcare...])

Удельный вес заболевших COVID-19 на 10 000 человек населения к общей заболеваемости в 2020 году в среднем по стране составил 4,46 %. На региональном уровне различия были ощутимы, а размах вариации превысил 8 раз (рис. 2).

Пандемия COVID-19 стала серьезным испытанием на прочность национальных систем здравоохранения стран мира, причем странами выбирались разные подходы к противодействию коронавирусной инфекции [Сорокина, 2020; Xu et al., 2020]. В большинстве своем всем им пришлось столкнуться с дефицитом кадров, мощностей медицинских учреждений,

оборудования [Sindwani et al., 2022] и средств защиты [Cohen et al., 2020], с вынужденной приостановкой оказания плановых услуг [Эпидемия коронавируса...]. К оказанию медицинской помощи в ряде стран приходилось привлекать фармацевтов [McDermott et al., 2021] и студентов медицинских специальностей [Fraher et al., 2020].



Рис. 2. Удельный вес заболевших COVID-19 в общей заболеваемости (на 10 000 человек населения) (рассчитано и составлено авторами по [Здравоохранение...])  
 Fig. 2. The share of patients with COVID-19 in the total incidence (per 10,000 population) (calculated and compiled by the authors according to [Healthcare ...])

К числу ключевых индикаторов состояния национальной системы здравоохранения можно отнести количество врачей и специалистов среднего медицинского персонала, численность населения на одну больничную койку, нагрузку на медицинский персонал. Мнения специалистов о том, насколько отечественное здравоохранение обеспечено по этим параметрам, неоднозначны и варьируют. Указывается, что общие подходы к оценке доступности медицинских услуг в нашей стране и за рубежом неприемлемы. В условиях российской действительности необходимо учитывать большие потоки пациентов и разреженность системы расселения, определяющую удаленность населенных пунктов друг от друга. А это требует большего числа больничных коек и медицинского персонала. С учетом этих аргументов обеспеченность врачами в нашей стране ниже потребности как минимум на 20–30 %, а больничными койками – на 25 % [Здравоохранение между мифом и реальностью].

До начала пандемии COVID-19 относительно благоприятная эпидемиологическая обстановка привела к тому, что система здравоохранения в России была оптимизирована под терапию неинфекционных заболеваний, были сокращены места в инфекционных стационарах [Кашепов, 2020].

В целом за последние 20 лет шло планомерное сокращение числа больничных коек – с 1671,6 тыс. (115 на 10 000 человек населения) в 2000 году до 1173,6 тыс. (80 на 10 000 человек населения) в 2019 году. Сложная эпидемиологическая ситуация 2020 года, вызванная COVID-19, позволила, пусть и незначительно, увеличить показатель до 1188,8 тыс. коек (81,3 на 10 000 человек населения) [Здравоохранение...]. Удельная обеспеченность больничными койками между регионами страны различается в широком диапазоне значений, достигая размаха в более чем 2,5 раза (рис. 3).

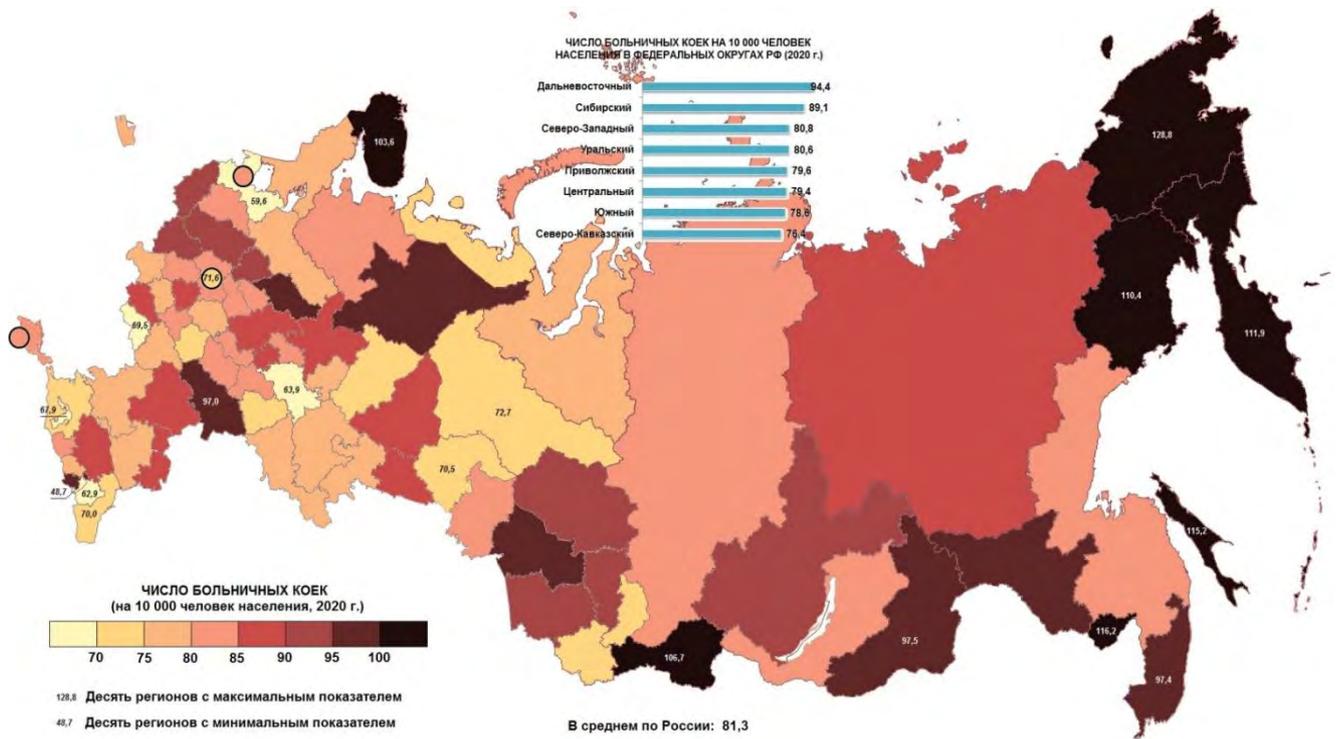


Рис. 3. Число больничных коек на 10 000 человек населения  
 (составлено авторами по [Здравоохранение...])

Fig. 3. Number of hospital beds per 10,000 population (compiled by the authors under [Healthcare...])

Динамика числа больничных коек в 2020 году по сравнению с 2019 годом в регионах страны складывалась разнонаправленно (рис. 4).

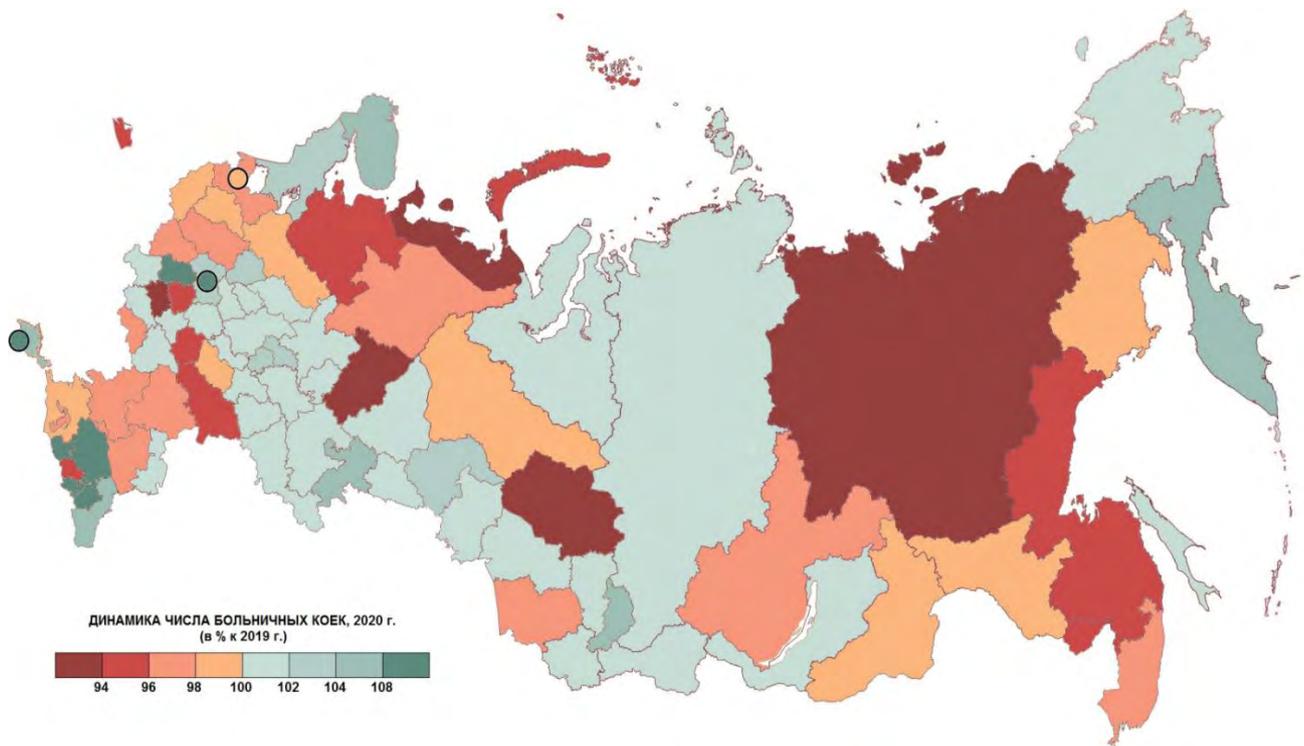


Рис. 4. Динамика числа больничных коек, 2020 года в %, к 2019 году  
 (рассчитано и составлено авторами по [Здравоохранение...])

Rice. 4. Dynamics of the number of hospital beds, 2020 in %, by 2019  
 (calculated and compiled by the authors according to [Healthcare ...])

Можно предположить, что такое положение связано не только с разным числом заболевших COVID-19, но разными организационно-экономическими ресурсами для открытия дополнительных больничных коек. При всем разнообразии региональной динамики среди субъектов Российской Федерации с сокращающимся коечным фондом даже в условиях пандемии доминирует группа относительно малонаселенных территорий с дисперсной системой расселения (Европейский Север, Дальний Восток) или ярко выраженными процессами депопуляции (Северо-Запад), где, по-видимому, продолжились процессы пространственной оптимизации местных систем здравоохранения.

Сокращение числа больничных коек за этот период шло и с учетом их специализации, но с разной динамикой. Исключение составляют места онкологического профиля. Лишь пандемия COVID-19 внесла свои коррективы. В этих условиях стала очевидной проблема дефицита коек в первую очередь инфекционного профиля [Перхов и др., 2020].

Статистические данные в целом по стране указывают на то, что число инфекционных коек в 2020 году выросло в 3,5–4 раза по сравнению с предыдущим годом: с 58,5 тыс. (4 на 10 000 человек населения) до 220,8 тыс. (15,1 на 10 000 человек населения) (рис. 5). Удельная обеспеченность инфекционными койками в регионах России различается более чем в 6,5 раза (рис. 6).

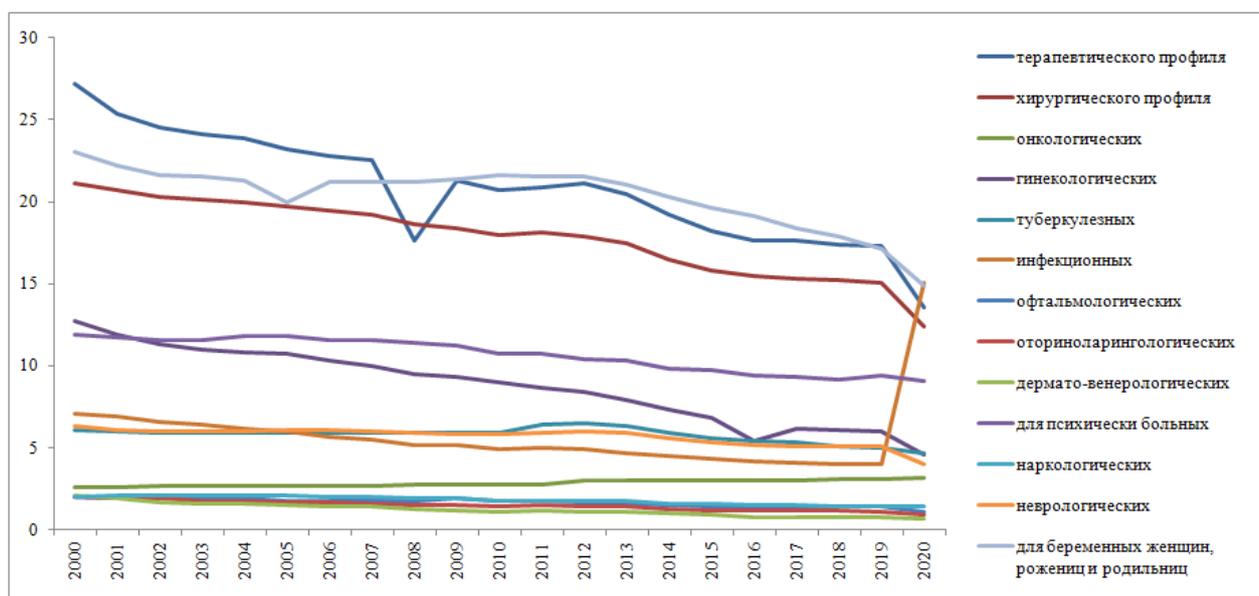


Рис. 5. Число больничных коек в России по специализации на 10 000 человек населения (составлено авторами по [Здравоохранение...])

Fig. 5. Number of hospital beds in Russia by specialization per 10,000 population (compiled by the authors under [Healthcare...])

В последние десятилетия в стране проводилось целенаправленное сокращение мощностей стационарного звена под предлогом того, что в условиях современных подходов к лечению эту помощь можно оказывать пациентам в амбулаторных условиях.

В пандемию COVID-19, прежде всего, пострадали регионы, в которых больше проявилась дезорганизация системы здравоохранения в период карантинных ограничений, и изначально был дефицит медицинского персонала и коек.

В рамках борьбы с эпидемией весной 2020 года субъектам Российской Федерации были предоставлены 65 млрд рублей на оснащение больниц. При этом дотации выделяли в расчете на число жителей региона. Поэтому максимальный объем средств был предоставлен Московской области, Санкт-Петербургу и Краснодарскому краю. Во вторую волну пандемии, в начале ноября 2020 года, правительство обязало губернаторов еженедельно отчитываться о количестве свободных мест в стационарах (не менее 20 %). В сложившейся ситуации реализовать подобную

директиву возможно было двумя основными путями – добавлять места или госпитализировать реже, что оставалось на усмотрение регионов. Кроме того, на начальном этапе эпидемии в РФ возник рост спроса со стороны населения на антибиотики и противовоспалительные препараты, возникли сбои в системе маркировки и дефицит лекарственных средств. Как и во всех странах мира, в РФ также наблюдался недостаток снабжения средствами индивидуальной защиты (СИЗ), реагентами и расходными материалами для ПЦР, амплификаторами, кислородом.

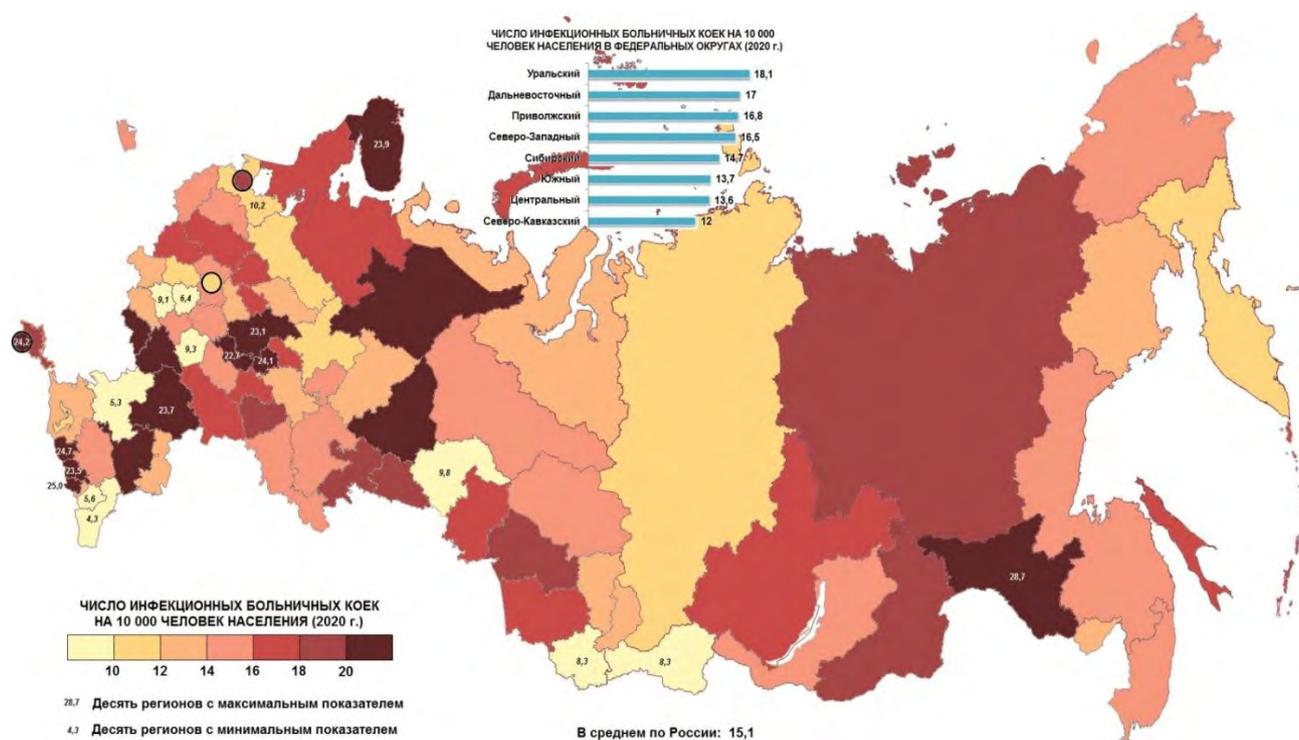


Рис. 6. Число инфекционных больничных коек на 10 000 населения в 2020 году (составлено авторами по [Здравоохранение...])  
 Fig. 6. Number of infectious hospital beds per 10,000 population in 2020 (compiled by the authors under [Healthcare ...])

В периоды подъемов волн, на фоне резкого роста заболевших, нехватка мест для пациентов была критической, провоцируя длительные ожидания специалистами скорой помощи указаний, куда направлять заболевших, вынужденный перевод на домашнее долечивание пациентов, чтобы освободить палаты для новых более тяжелых больных.

Проблему дефицита коек решали по-разному: созданием медицинских центров, переоборудованием под ковидные госпитали торговых центров, санаториев, специализированных больниц, роддомов. Такой подход, с одной стороны, позволяет меньшими экономическими затратами на фоне дефицита медицинских кадров частично решить проблему нехватки мест заболевшим COVID-19. Но, с другой стороны, он влечет за собой сокращение оказанной медицинской помощи населению с хроническими заболеваниями специализированными больницами по основному профилю, а санаториями – помощи на реабилитационно-восстановительном этапе.

Также можно предположить, что каждый регион в зависимости от сложившейся ситуации мог принять решение не госпитализировать больного в медучреждение при признаках легкого и среднего течения заболевания, а предоставить возможность лечения на дому, обеспечив лекарственными препаратами и организовав систему консультаций со специалистом, а также контроля со стороны участково-терапевтической службы. Выдача бесплатных лекарств была поручена региональным органам по охране здоровья. Однако сложности ситуации добавила выросшая нагрузка на участковую терапевтическую службу. В критические



периоды подъема заболеваемости со стороны заболевших COVID-19 поступали жалобы на долгое время ожидания участковых врачей и проблемы с вызовом скорой помощи.

В регионах с более мощными финансовыми резервами в период пандемии введены в эксплуатацию новые инфекционные больницы и лечебные корпуса. Так, Москва входила в список субъектов РФ с наиболее высоким показателем числа заболевших, организационные вопросы оказания медицинской помощи решались заметно успешнее, чем во многих других регионах. Из числа крупных медицинских учреждений, созданных в 2020 году, можно выделить новую инфекционную больницу на 800 мест в поселении Вороновское в Новой Москве (Коммунарке) [Безымянный, 2021].

Масштабная кампания по вводу дополнительных резервов для более эффективной борьбы с эпидемией и укрепления потенциала системы здравоохранения была проведена Министерством обороны РФ, которое в рекордные сроки построило 16 медицинских центров по всей стране в общей сложности на 1600 койко-мест (Есипов, 2020): в Подольске (200), Анастасьевке (200), Ростове-на-Дону (160), Новосибирске (160), Калининграде (100), Одиново (100), Волгограде (100), Омске (100), Пушкине (60), Смоленске (60), Севастополе (60), Нижнем Новгороде (60), Оренбурге (60), Сосновом (60), Петропавловске-Камчатском (60) и Уссурийске (60). На проект было выделено правительством страны 8,8 млрд рублей [Армия России...].

В условиях расширения коечного фонда, роста технического и кадрового обеспечения инфекционной службы большая часть больных получали медицинскую помощь амбулаторно с привлечением дополнительных ресурсов первичного звена здравоохранения [Аналитический бюллетень...].

В целях роста эффективности лечения пациентов легкой и средней тяжести на дому была сделана ставка на применение телемедицинских технологий. Однако их возможности оказались ограниченными в условиях, когда постановка диагноза без очного присутствия пациента недопустима, а лица пожилого возраста испытывают технические сложности пользования таким видом услуг. Остается нерешенным вопрос о возможности применения врачом телемедицинских технологий не только из кабинета медицинской организации, но и из своей квартиры [Тимербулатов и др., 2020].

Существенные трудности в условиях чрезвычайной ситуации пандемии COVID-19 испытывала сфера обращения лекарств. Среди основных проблем – важность создания государственной системы лекарственной безопасности, единого центра управления в этой сфере. Сейчас полномочия в этой сфере распределены между пятью центрами – Минздравом, Минпромторгом, Роспотребнадзором, Росздравнадзором, Федеральным медико-биологическим агентством (ФМБА), и каждое ведомство действует самостоятельно. В условиях чрезвычайной ситуации сложившаяся в нашей стране система регистрации новых препаратов работает неэффективно. Так, ряд средств, хорошо зарекомендовавших себя в условиях пандемии в других государствах, в России не зарегистрированы. Еще одним острым вопросом на фармрынке является ценообразование. Особенно дороги зарубежные инновационные препараты [Какие проблемы в системе здравоохранения...]. Кроме того, наблюдается уязвимость национальной системы здравоохранения в связи с экспортной зависимостью на фоне возможных санкций.

В период пандемии COVID-19 обозначилась проблема с госзакупками. Проблемы финансирования системы здравоохранения в период пандемии COVID-19 нельзя оценить однозначно. Новые закупки аппаратуры, СИЗ, специальной автомобильной техники следует рассматривать не столько как бюджетные потери, а скорее как инвестиции в отрасль, ведь все это будет использоваться в системе здравоохранения еще несколько лет. Снижение объемов плановой госпитализации позволило сэкономить часть средств по этой статье расходов. То есть в условиях пандемии в роли ключевой финансовой проблемы отечественной системы здравоохранения следует рассматривать не рост дополнительных расходов, а сокращение бюджетных доходов всех уровней, доходов самих учреждений здравоохранения, которые

необходимы для поддержания инфраструктурной и кадровой обеспеченности отрасли [Стародубов и др., 2020].

Эффективной работе национальной системы здравоохранения мешает и обострившаяся финансовая дифференциация медицинских учреждений, когда в условиях пандемии происходит их перепрофилирование, изменение штатного расписания, трансформация сложившейся структуры доходов и расходов.

В экстремальных условиях пандемии, согласно отчету Счетной палаты, посвященному анализу бюджетных расходов фонда обязательного медицинского страхования (ФФОМС), система показала свою неспособность к эффективному функционированию. В 2020 году объемы плановой медицинской помощи в стационарах по неинфекционным заболеваниям были резко сокращены. В наибольшей степени это коснулось сердечно-сосудистых и эндокринных заболеваний. Доступность этой помощи удалось сохранить только в онкологии [Тимербулатов и др., 2020].

Резко возросшее число заболевших не только отзывается перенапряжением мощностей здравоохранения, но и приводит к значительному увеличению затрат на их лечение. Расходы на лечение больного по ОМС зависят от степени тяжести заболевания и регионального тарифа на оплату. Специалисты Федерального фонда обязательного медицинского страхования (ФОМС) сопоставляют затраты на лечение одного легкого случая коронавирусной инфекции со стоимостью лечения при обычной пневмонии. В условиях средней тяжести заболевания эти затраты увеличиваются до 100 тыс. рублей, а при тяжелом течении – достигают 200 тыс. рублей. Если же тяжесть болезни заставляет использовать ЭКМО или требует подключения к аппарату ИВЛ, то затраты превышают 200 тыс. рублей [Глава ФФОМС назвала стоимость лечения...]. Тяжелым пациентам необходимо введение иммунобиологических препаратов, стоимость каждого из которых может достигать 50–60 тыс. рублей. Затраты на лечение наиболее тяжелых больных составляют 233 тыс. рублей. В Москве общая стоимость лечения на дому одного пациента достигает 30–40 тыс. рублей. К сожалению, не во всех регионах существует подобная практика обеспечения необходимыми препаратами в полном объеме пациентов, которые проходят лечение на дому [Ковид сжигает деньги].

Недовольные государственной медициной пациенты ищут альтернативы, на что косвенно указывает прирост частных клиник, услуги в которых подменяют собой те, что должны предоставляться в бюджетных медицинских учреждениях. При этом далеко не все россияне могут позволить себе платное лечение, доля которого все выше.

Отдельного внимания заслуживает кадровый вопрос сферы здравоохранения, а также производительности труда медицинских работников. Дефицит кадров был очевиден и в допандемийный период. В 2019 году в стране не хватало 25 тыс. врачей и 130 тыс. специалистов среднего медицинского персонала [Совещание по вопросам модернизации].

Как следствие, наблюдаются превышение психоэмоциональных нагрузок, стрессы, и подверженность риску профессионального выгорания [Корехова и др., 2021; Малярчиков и др., 2021].

Наиболее ощутимо сократилось количество младшего и среднего медперсонала в государственном секторе. В 2000 году численность среднего медицинского персонала составляла 1563,6 тыс. человек (107,6 на 10 тыс. чел. населения), в 2020 году – 1490,5 тыс. человек (102,0 на 10 тыс. чел.) [Здравоохранение...].

Фельдшерская служба также понесла значительные кадровые потери. В 2000 году численность фельдшеров составляла 184,8 тыс. чел. (12,7 на 10 тыс. чел. населения), а в 2020 – 136,2 тыс. чел. (9,3 на 10 тыс. чел.). Заметно снизилось число лаборантов и медицинских лабораторных техников. В 2000 году их было 106,2 тыс. чел. (7,3 на 10 тыс. чел. населения), а в 2020 – 86,4 тыс. чел. (5,9 на 10 тыс. чел.) [Здравоохранение...]. Созданная в советское время санитарно-эпидемиологическая служба также испытала оптимизацию. Численность персонала службы за последние два десятилетия уменьшилась в два раза. Если в 2020 году в отрасли

были заняты 13,8 тыс. врачей (0,9 на 10 тыс. чел. населения), то двадцатью годами ранее их число достигало 27,8 тыс. (1,9 на 10 тыс. чел.). [Здравоохранение...].

Основные причины дефицита кадров: низкие зарплаты и низкий базовый оклад на фоне высокой интенсивности труда в медицинских учреждениях государственного сектора, а также реструктуризация системы здравоохранения.

В пандемию кадровый дефицит усилился, стала очевидна нехватка медицинских специалистов разных профилей. В первую очередь инфекционистов, анестезиологов-реаниматологов, а также кардиологов, пульмонологов. Самый большой кадровый дефицит наблюдается среди младшего и среднего медперсонала. Лишь в 26 субъектах РФ численность среднего медицинского персонала в организациях, оказывающих медицинские услуги, в 2020 году по сравнению с 2019 годом не сократилась. В 59 регионах численность уменьшилась (рис. 7).

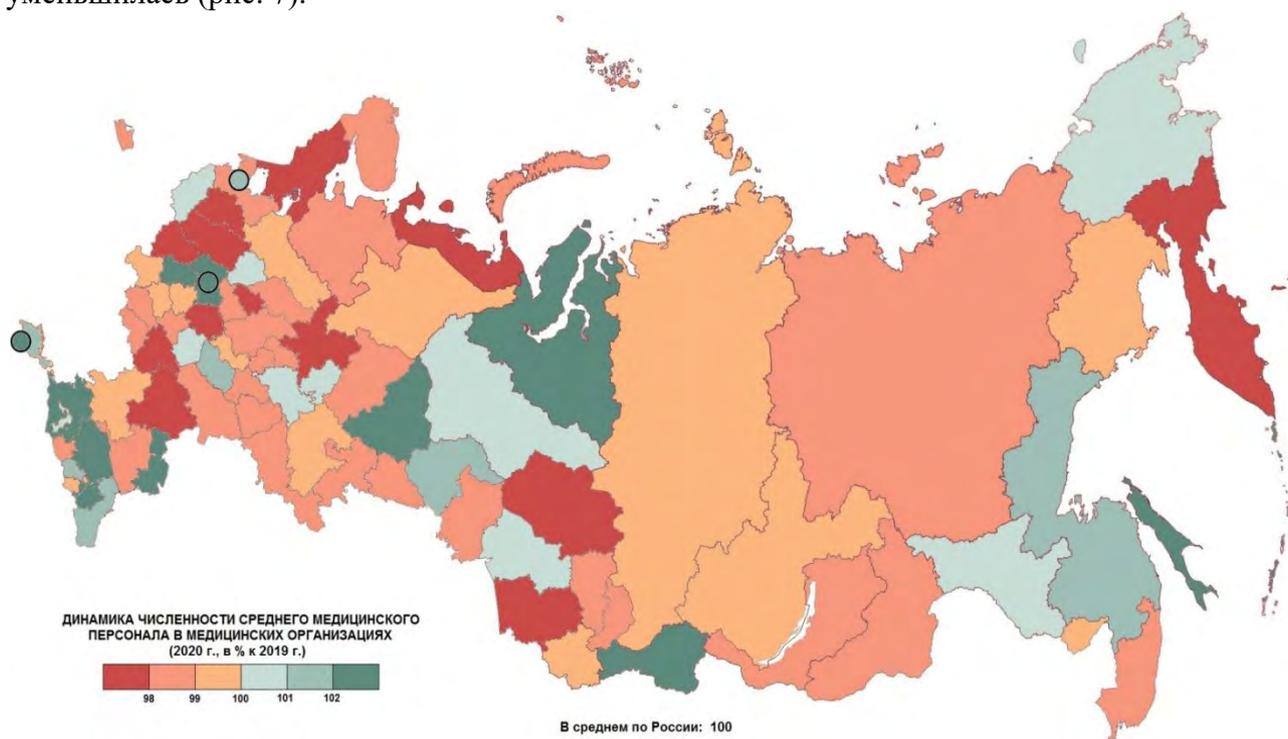


Рис. 7. Динамика численности среднего медицинского персонала в организациях, оказывающих медицинские услуги на конец 2020 года в %, к 2019 году (рассчитано и составлено авторами по [Здравоохранение...])

Fig. 7. Dynamics of the number of paramedical personnel in organizations providing medical services at the end of 2020 in%, by 2019 (calculated and compiled by the authors according to [Healthcare...])

Увеличение кадрового дефицита в пандемию в первую очередь связано с ростом заболеваемости COVID-19 среди медиков, а также внутренней конкуренции в медицинской среде ввиду предусмотренных выплат при работе в ковидарии.

Медработники в силу профессии чаще контактируют и ухаживают за пациентами с COVID-19, что неизбежно ставит их в группу с высоким риском заражения и смертности. [Список врачей...].

Среди врачей наибольшая степень риска в первую очередь у терапевтов, анестезиологов-реаниматологов, хирургов, что было обусловлено дефицитом средств защиты на начальном этапе пандемии и проведением манипуляций, повышающих риск заражения (например, интубации трахеи). Среди медицинских работников у медсестер был самый высокий уровень инфицирования (38,6 % – 48 %), по сравнению с врачами, уровень инфицирования которых составлял 25 %. Более высокий уровень инфицирования среди среднего медперсонала может быть связан с характером обязанностей, включающих круглосуточный уход за инфицированными пациентами, участие в скрининге. Зарубежные исследования показывают, что на

начальном этапе пандемии в провинции Хубэй (Китай) смертность среди медицинских работников достигала до 54,2 %. Это связывали с первоначальным недостатком знаний о возбудителе в сочетании с плохой осведомленностью среди медицинского персонала об эффективности профилактических мер. Последующие исследования демонстрировали показатели летальности среди медицинских работников от 0,3 до 0,7 % [Chutiyami et al., 2022].

В РФ в 2020 году от COVID-19 умерли 485, а за I полугодие 2021-го – 1100 медицинских работников [В России...]

С учетом ковидных выплат дифференциация размеров заработных плат специалистов, занятых в «красной зоне», и тех, кто остался в поликлиниках и стационарах плановой и экстренной медпомощи, существенная, при этом оплата определяется уровнем инфекционной опасности и квалификации медицинского персонала. Так, например, работники скорой помощи, обсуживающие «коронавирусные» вызовы, при расчете выплат разделены на категории: фельдшеры по приему вызовов, младший и средний медицинский персонал, врачи, водители машин скорой помощи и члены авиамедицинских экипажей. Выплаты за смену фельдшерам-диспетчерам скорой помощи составляют 600 рублей, младшему персоналу – 950 рублей, среднему медперсоналу, водителям и летчикам – в 1215 рублей, врачам скорой помощи – 2430 рублей. Аналогичные выплаты назначены также персоналу первичного медицинского звена.

Медицинский персонал «красной зоны» стационаров подвержен большей опасности заражения. Исходя из этого выплаты врачам за смену – 3880 рублей, среднему медицинскому персоналу – 2430 рублей, младшему медицинскому персоналу – 1215 рублей. Выплаты получают также сотрудники патологоанатомических подразделений [О государственной...].

Ощутима разница оплаты труда медиков за одну и ту же работу в разных регионах страны, которая может достигать 4-4,5 раза (см. таблицу). На этом фоне заметен «отток» врачей в высокооплачиваемые регионы, в частности, в Москву.

### Обсуждение результатов

Нарушение работы системы здравоохранения в пандемический период проявилось в виде проблем доступности медицинской помощи, перегрузки мощностей медицинских учреждений, недостатка оборудования, реагентов и средств защиты, вынужденной приостановкой оказания плановых услуг, что привело к росту смертности.

Высокая загруженность медицинских учреждений работой на фоне возросшего дефицита медицинских кадров отразилась на факторе качества медицинских услуг. Наиболее критическая ситуация с уровнем медицинского обслуживания сложилась в сельской местности. Качество медицинских услуг не лишено изъянов, которые принято называть дефектами – причинение вреда здоровью человека, полученного им в процессе получения медицинской помощи [Агеева, 2014]. Всемирная организация здравоохранения считает эту проблему весьма распространенной, а размер глобальных социальных издержек, связанных с ней, достигает 1–2 трлн. долларов [Качественные услуги здравоохранения]. Понятие «ненадлежащего оказания медицинской помощи» в отечественном законодательстве сегодня четко не сформулировано. Поэтому его можно трактовать как антипод надлежащего оказания медицинской помощи, то есть не соответствующее предъявляемым к ней требованиям [Мурзова и др., 2012].

Размах дефектов медицинской помощи определяется множеством факторов, включающих как компетентность медицинского персонала, уровень диагностики, изъяны организации лечебного процесса, так и актуальность обращения за помощью самого пациента, наличие нехарактерных проявлений течения болезни, сложности диагностики основного заболевания при наличии сопутствующих болезней [Татаринцев и др., 2010].

Зарубежные эксперты в области безопасности здоровья видят одной из проблем проявления ятрогении чрезмерную зависимость от технологий и плохо развитую инфраструктуру первичной медико-санитарной помощи. Например, США уступают только Японии по доступности таких технологических процедур, как МРТ и КТ, однако это не привело к более высокому стандарту лечения [The controversy around...].



Средняя заработная плата работников здравоохранения, предоставляющих медицинские услуги государственной и муниципальной форм собственности по субъектам Российской Федерации (2020 г.) (составлено по: [Итоги...])

Average wages of healthcare workers providing medical services of state and municipal forms of ownership by constituent entities of the Russian Federation (2020) (compiled by: [Results ...])

	Максимальные показатели		Минимальные показатели	
	Субъекты РФ	рублей	Субъекты РФ	рублей
Врачей и работников медицинских организаций, имеющих высшее медицинское (фармацевтическое) или иное высшее образование (в среднем в РФ – 91 688 рублей)				
1	Ямало-Ненецкий АО	256 210	Республика Северная Осетия	51 858
2	Чукотский АО	236 995	Кабардино-Балкарская Респ.	53 311
3	Магаданская обл.	182 541	Карачаево-Черкесская Респ.	53 963
4	Ненецкий АО	176 842	Ивановская обл.	55 478
5	Сахалинская обл.	176 124	Костромская обл.	55 486
6	Камчатский край	165 690	Орловская обл.	56 204
7	г. Москва	161 112	Тамбовская обл.	56 453
8	Республика Саха (Якутия)	157 661	Республика Адыгея	56 596
9	Ханты-Мансийский АО	137 821	Ульяновская обл.	57 326
10	г. Санкт-Петербург	124 445	Республика Марий Эл	57 732
Среднего медицинского (фармацевтического) персонала (персонала, обеспечивающего условия для предоставления медицинских услуг) (в среднем в РФ – 46 974 рублей)				
1	Ямало-Ненецкий АО	133 270	Карачаево-Черкесская Респ.	28 246
2	Чукотский АО	121 685	Республика Ингушетия	28 555
3	Ненецкий АО	93 415	Республика Северная Осетия	28 669
4	Магаданская обл.	92 374	Кабардино-Балкарская Респ.	28 946
5	Сахалинская обл.	91 281	Тамбовская обл.	29 083
6	г. Москва	90 681	Костромская обл.	29 480
7	Камчатский край	89 246	Республика Адыгея	29 718
8	Республика Саха (Якутия)	80 147	Ивановская обл.	29 819
9	Ханты-Мансийский АО	72 531	Республика Марий Эл	29 993
10	г. Санкт-Петербург	71 723	Орловская обл.	30 421
Младшего медицинского персонала (персонала, обеспечивающего условия для предоставления медицинских услуг) (в среднем в РФ – 41 038 рублей)				
1	Чукотский АО	105 718	Республика Северная Осетия	25 601
2	Ямало-Ненецкий АО	120 367	Республика Ингушетия	25 761
3	Ненецкий АО	87 702	Костромская обл.	25 926
4	Магаданская обл.	84 850	Карачаево-Черкесская Респ.	27 269
5	Республика Саха (Якутия)	81 919	Кабардино-Балкарская Респ.	27 307
6	Камчатский край	81 275	Республика Крым	27 351
7	г. Москва	78 241	Республика Адыгея	28 153
8	Сахалинская обл.	77 802	Ульяновская обл.	28 227
9	Ханты-Мансийский АО	65 132	Республика Марий Эл	28 237
10	Мурманская обл.	60 208	Республика Дагестан	28 391

Проблема оказания медицинской помощи ненадлежащего уровня в период пандемии COVID-19 обостряется и в РФ. Невыполнение стандартов медицинской помощи и клинических рекомендаций является самым массовым типом нарушений, например, пациентов несвоевременно переводили с амбулаторного на стационарное лечение, несвоевременно проводили диагностику, не назначали необходимую респираторную поддержку, антикоагулянты, лечение сопутствующих заболеваний.

В условиях пандемии в 2020 году наблюдались значительные сбои в деятельности первичного звена системы здравоохранения, стационаров, были приостановлены программы диспансеризации [Чернышев и др., 2021].

Профилактические осмотры контингента взрослого населения, подлежащего периодическим осмотрам, в 2020 году сократились в два раза (20 555,4 тыс. человек) по сравнению с 2019 годом (42 301,9 тысяч человек) [Здравоохранение...].

### **Выводы**

Реализуемая в последние годы в стране оптимизация системы здравоохранения спровоцировала появление ряда проблем, обострившихся в эпоху пандемии COVID-19. Предшествующее пандемии сокращение инфекционных коек, объединение и оптимизация лечебно-профилактических учреждений, снижение расходов государства на здравоохранение, дефицит кадров, повышенная нагрузка на медицинских работников, неравенство в доступе к качественной охране здоровья в разных регионах, в том числе из-за географических особенностей, служили предпосылками для возникновения трудностей в преодолении течения пандемии в России.

Определенные вопросы в ряде случаев вызывает качество и эксплуатация специфического оборудования, применяемого при лечении тяжелых и крайне тяжелых пациентов, например, аппаратов ИВЛ и ЭКМО. В России компонентная база производства оказалась недостаточно развита, используются зарубежные комплектующие. Местные производители начали наращивать мощности, но возникли инциденты с возгоранием оборудования, что потребовало расследования и привело к репутационным издержкам.

Беспрецедентность и экстремально возросшая нагрузка на систему здравоохранения требует от населения индивидуальной ответственности за свое здоровье, внесения вклада в сохранение благоприятной санитарно-эпидемиологической обстановки, что может сделать посильный вклад помощи медицинским организациям в борьбе с пандемией. Однако часть информационных ресурсов была направлена на желание обезопасить общество от негативной информации и защиту от панических настроений, что имело и обратную сторону – многие не осознали масштаба и тяжести пандемии и ее последствий. При этом ситуация с коронавирусом в России в периоды подъема волн дает повод для беспокойства. Однако население беспечно, что проявляется в виде низкой явки на вакцинацию, покупки поддельных сертификатов, пренебрежения антиковидными мерами. Частично личный опыт борьбы с заболеванием позволил изменить свое отношение к происходящему у населения, затронутого пандемией: для многих цена оказалась непомерно высокой – цена здоровья, а то и жизни, и не только своей. Известное выражение «профилактика лучше лечения» является актуальным и вполне реализуемым посредством соблюдения социальной дистанции, использования индивидуальных средств защиты, вакцинирования, профилактической помощи организму посредством соблюдения режима дня, нутриентной поддержки.

Низкая культура самосохранительного поведения в пандемию более очевидно проявляется в виде пренебрежения правилами личной гигиены и противоэпидемических мер, недолечивания и пренебрежения этапом реабилитации после перенесенной коронавирусной инфекции, недостаточной двигательной активности, несбалансированности питания и незначительного употребления дополнительных источников витаминов и микроэлементов, патологической зависимости от вредных привычек. К сожалению, с информационным просвещением не в полном объеме справились также ученые, экспертное сообщество и органы государственного управления. Для эффективной борьбы с новыми вспышками инфекционных болезней и преодоления их последствий следует учесть положительный опыт реформирования коечного фонда (двойное назначение для основного и инфекционного профиля), возведение мобильных госпиталей, возможность быстрой переквалификации или переобучения, привлечение волонтеров.

### **Список источников**

Аналитический бюллетень НИУ ВШЭ об экономических и социальных последствиях коронавируса в России и в мире. Высшая школа экономики, № 2. 21.05.2020. URL: <https://www.hse.ru/mirror/pubs/share/366632986.pdf> (дата обращения 30.04.2022).



- Армия России: наступление на вирус. Российская газета – Федеральный выпуск № 10 (8158). URL: <https://rg.ru/2020/05/17/mo-rf-v-rekordnye-sroki-postroilo-16-medicinskih-centrov-po-vsej-strane.html> (дата обращения 30.04.2022).
- В России 1100 врачей погибли от COVID в первом полугодии 2021 года. Интерфакс. URL: <https://www.interfax.ru/russia/798128> (дата обращения 30.04.2022).
- Глава ФФОМС назвала стоимость лечения больных COVID-19. Российская газета. RG.RU. URL: <https://rg.ru/2020/04/24/glava-ffoms-nazvala-stoimost-lecheniia-bolnyh-covid-19.html> (дата обращения 30.04.2022).
- Демографический ежегодник России. 2021. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13207> (дата обращения 30.04.2022).
- Здравоохранение между мифом и реальностью. Ведомости. URL: <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2015/08/05/603511-sistema-zdravoohraneniya-mezhdu-mifom-i-realnostyu> (дата обращения 30.04.2022).
- Здравоохранение. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13721> (дата обращения 30.04.2022).
- Итоги федерального статистического наблюдения в сфере оплаты труда отдельных категорий работников социальной сферы и науки за январь – декабрь 2020 года. Рынок труда, занятость и заработная плата. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1eEUBIVB/itog-monitor05-20.htm>
- Какие проблемы в системе здравоохранения РФ выявила пандемия. RG.RU. URL: <https://rg.ru/2020/06/03/kakie-problemy-v-sisteme-zdravoohraneniia-rf-vyiavila-pandemiia.html> (дата обращения 30.04.2022).
- Качественные услуги здравоохранения. ВОЗ. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/quality-health-services> (дата обращения 30.04.2022).
- Ковид сжигает деньги. Врачи рассказали, сколько стоит лечение одного пациента в больнице. 360. URL: <https://360tv.ru/news/tekst/serpuhovskoj-podryvnik/> (дата обращения 30.04.2022).
- О государственной социальной поддержке в 2020–2021 годах медицинских и иных работников медицинских и иных организаций (их структурных подразделений), оказывающих медицинскую помощь (участвующих в оказании, обеспечивающих оказание медицинской помощи) по диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции (COVID-19), медицинских работников, контактирующих с пациентами с установленным диагнозом новой коронавирусной инфекции (COVID-19), внесении изменений во Временные правила учета информации в целях предотвращения распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19) и признании утратившими силу отдельных актов Правительства Российской Федерации. Постановление Правительства РФ от 30 октября 2020 г. N 1762 (ред. от 28.11.2020).
- Россия в цифрах. 2021. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12993> (дата обращения 30.04.2022).
- Совещание по вопросам модернизации первичного звена здравоохранения. 20 августа 2019 года. Москва, Кремль. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/61340> (дата обращения 30.04.2022).
- Список врачей, медсестер, санитарок, лаборантов и других медицинских работников, погибших во время пандемии КОВИД. Список памяти. URL: <https://www.sites.google.com/view/covid-memory/home> (дата обращения 30.04.2022).
- Эпидемия коронавируса: реагирование национальных систем здравоохранения, дайджест. 2020. URL: <https://ach.gov.ru/upload/pdf/Covid-19-health-fin.pdf> (дата обращения 30.04.2022).
- The controversy around estimating deaths from medical error. Healthy debate. URL: <https://healthydebate.ca/2019/08/topic/medical-error-causing-death/> (дата обращения 30.04.2022).

### Список литературы

- Агеева Н.А. 2014. Дефекты оказания медицинской помощи: проблемы и пути решения. Universum: Медицина и фармакология, 6(7), 2. URL: [https://7universum.com/pdf/med/6\(7\)/Ageeva.pdf](https://7universum.com/pdf/med/6(7)/Ageeva.pdf) (дата обращения 30.04.2022).
- Безымянный А. 2021. Инфраструктурные изменения в первичной медико-санитарной помощи в условиях COVID-19. Московская медицина, 3(43): 6–11.
- Есипов А.В., Алехнович А.В., Абушинов В.В. 2020. COVID-19: Первый опыт оказания медицинской помощи и возможные решения проблемных вопросов (обзор). Госпитальная медицина: наука и практика, 1(1): 5–8.

- Кашепов А.В. 2020. Институциональные и экономические проблемы здравоохранения в России. Вестник Алтайской академии экономики и права, 11(2): 244–253.
- Корехова М.В., Киров М.Ю., Новикова И.А., Соловьев А.Г. 2021. Эмоциональное состояние врачей – анестезиологов-реаниматологов в разные периоды пандемии COVID-19. Вестник анестезиологии и реаниматологии, 18(5): 21-29. DOI: 10.21292/2078-5658-2021-18-5-21-29.
- Малярчиков А.В., Шаповалов К.Г. 2021. Уровень удовлетворенности трудовой деятельностью и степень эмоционального «выгорания» у анестезиологов-реаниматологов, работающих в красной зоне COVID-госпиталя. Вестник анестезиологии и реаниматологии, 18(2): 17–22. DOI: 10.21292/2078-5658-2021-18-2-17-22.
- Мурзова Т.В., Сенина-Волжская И.В. 2012. Вопросы ненадлежащего оказания медицинской помощи. Фундаментальные исследования, 7(1): 224–229.
- Перхов В.И., Гриднев О.В. 2020. Уроки пандемии COVID-19 для политики в сфере общественного здравоохранения. Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики, 2: 206-222. DOI 10.24411/2312-2935-2020-10043.
- Сорокина Е.А. 2020. Государственная противоэпидемическая политика: опыт Швеции по противодействию коронавирусу. Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России, 3(87): 42–53. DOI: 10.35750/2071-8284-2020-3-42-53.
- Стародубов В.И., Кадыров Ф.Н., Обухова О.В., Базарова И.Н., Ендовицкая Ю.В., Несветайло Н.Я. 2020. Влияние коронавируса COVID-19 на ситуацию в российском здравоохранении. Менеджер здравоохранения, 4: 58–71.
- Стародубов В.И., Улумбекова Г.Э. 2015. Здравоохранение России: проблемы и решения. ОРГЗДРАВ: Новости, мнения, обучения, Вестник ВШОУЗ, 1(1): 12–27.
- Татаринцев А.В., Баринев Е.Х., Ромодановский П.О., Ярема В.И. 2010. Изучение дефектов оказания медицинской помощи больным с абдоминальной хирургической инфекцией. Медицинская экспертиза и право, 5: 17–22.
- Тимербулатов В.М., Тимербулатов М.В. 2020. Здравоохранение во время и после пандемии COVID-19. Вестник академии наук республики Башкортостан, 35-2(98): 77–87.
- Чернышев В.М., Воевода М.И., Стрельченко О.В., Шальгина Л.С., Мингазов И.Ф. 2021. О состоянии здоровья населения и здравоохранения Сибирского федерального округа в период пандемии (некоторые итоги 2020 года). Сибирский научный медицинский журнал, 41(6): 101–109. DOI: 10.18699/SSMJ20210612.
- Cohen J., van der Meulen Rodgers Y. 2020. Contributing factors to personal protective equipment shortages during the COVID-19 pandemic: Preventive Medicine. 141:106263. DOI: 10.1016/j.ypmed.2020.106263
- Fraher E.P., Pittman P., Frogner B.K., Spetz J., Moore J., Beck A. J., et al. 2020. Ensuring and sustaining a pandemic workforce. The New England journal of medicine. 382(23): 2181–2183. DOI: 10.1056/NEJMp2006376.
- McDermott K. 2021. Utilizing diagnostic pharmacists to support Family Medicine Walk-In clinics during the COVID-19 pandemic: Journal of the American Pharmacists Association, 62(2): 612–619. DOI: 10.1016/j.japh.2021.10.022
- Sindwani G., Suri A. 2021. Acute hospital oxygen shortage during COVID-19 pandemic surge: how can we prevent the apocalypse? Brazilian Journal of Anesthesiology (English Edition), 72(2): 311–312. DOI: 10.1016/j.bjane.2021.10.003.
- Xu W., Wu J., Cao L. 2020. COVID-19 pandemic in China: Context, experience and lessons. Health Policy and Technology, 9(4): 639-648. DOI: 10.1016/j.hlpt.2020.08.006.
- Chutiyami M., Bello U.M., Salihu D., Ndwiga D., Kolo M.A., Maharaj R., et al. 2022. COVID-19 pandemic-related mortality, infection, symptoms, complications, comorbidities, and other aspects of physical health among healthcare workers globally: An umbrella review. International Journal of Nursing Studies. 129:104211. DOI: 10.1016/j.ijnurstu.2022.104211.

## References

- Ageeva N.A. 2014. Defekty okazaniya medicinskoj pomoshhi: problemy i puti reshenija [Defects in the provision of medical care: problems and solutions]. *Universum: Medicina i farmakologija*, 6(7): 2.
- Bezymbjannyj A. 2021. Infrastrukturnye izmenenija v pervichnoj mediko-sanitarnoj pomoshhi v uslovijah COVID-19 [Infrastructural changes in primary health care in the context of COVID-19]. *Moskovskaja medicina*, 3(43): 6–11.



- Esipov A.V., Alehnovich A.V., Abushinov V.V. 2020. COVID-19: Pervyj opyt okazaniya medicinskoj pomoshhi i vozmozhnye reshenija problemnyh voprosov (obzor) [COVID-19: The first experience of providing medical care and possible solutions to problematic issues (review)]. *Gospital'naja medicina: nauka i praktika*, 1(1): 5–8.
- Kashepov A.V. 2020. Institucional'nye i jekonomicheskie problemy zdravooхранeniya v Rossii [Institutional and economic problems of healthcare in Russia]. *Vestnik Altajskoj akademii jekonomiki i prava*, 11-2: 244–253.
- Korehova M.V., Kirov M.Ju., Novikova I.A., Solov'ev A.G. 2021. Jemocional'noe sostojanie vrachej – anesteziologov-reanimatologov v raznye periody pandemii COVID-19 [The emotional state of doctors - anesthesiologists-resuscitators in different periods of the COVID-19 pandemic]. *Vestnik anesteziologii i reanimatologii*, 5(18): 21–29. DOI: 10.21292/2078-5658-2021-18-5-21-29.
- Maljarchikov A.V., Shapovalov K.G. 2021. Uroven' udovletvorennosti trudovoj dejatel'nost'ju i stepen' jemocional'nogo «vygoranija» u anesteziologov-reanimatologov, rabotajushhijh v krasnoj zone COVID-gospitalja [he level of job satisfaction and the degree of emotional "burnout" among anesthesiologists-resuscitators working in the red zone of the COVID hospital]. *Vestnik anesteziologii i reanimatologii*, 2(18): 17–22. DOI: 10.21292/2078-5658-2021-18-2-17-22.
- Murzova T.V., Senina-Volzhsckaja I.V. 2012. Voprosy nenadlezhashhego okazaniya medicinskoj pomoshhi [Issues of improper provision of medical care]. *Fundamental'nye issledovanija*, 7–1: 224–229.
- Perhov V.I., Gridnev O.V. 2020. Uroki pandemii COVID-19 dlja politiki v sfere obshhestvennogo zdravooхранeniya [Lessons from the COVID-19 pandemic for public health policy]. *Sovremennye problemy zdravooхранeniya i medicinskoj statistic*, 2: 206–222. DOI 10.24411/2312-2935-2020-10043.
- Sorokina E.A. 2020. Gosudarstvennaja protivojepidemiceskaja politika: opyt Shvecii po protivodejstviju koronavirusu [State anti-epidemic policy: Sweden's experience in combating coronavirus]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta MVD Rossii*, 3(87): 42–53. DOI: 10.35750/2071-8284-2020-3-42-53.
- Starodubov V.I., Kadyrov F.N., Obuhova O.V., Bazarova I.N., Endovickaja Ju.V., Nesvetajlo N.Ja. 2020. Vlijanie koronavirusa COVID-19 na situaciju v rossijskom zdravooхранenii [Influence of the coronavirus COVID-19 on the situation in Russian healthcare]. *Menedzher zdravooхранeniya*, 4: 58–71.
- Starodubov V.I., Ulumbekova G.Je. 2015. Zdravooхранenie Rossii: problemy i reshenija [Russian Healthcare: Problems and Solutions]. *ORGZDRAV: Novosti, mnenija, obuchenija*, *Vestnik VShOUZ*, 1(1): 12–27.
- Tatarincev A.V., Barinov E.H., Romodanovskij P.O., Jarema V.I. 2010. Izuchenie defektov okazaniya medicinskoj pomoshhi bol'nym s abdominal'noj hirurgicheskoj infekciej [The study of defects in the provision of medical care to patients with abdominal surgical infection]. *Medicinskaja jekspertiza i parvo*, 5: 17–22.
- Timerbulatov V.M., Timerbulatov M.V. 2020. Zdravooхранenie vo vremja i posle pandemii COVID-19 [Health care during and after the COVID-19 pandemic]. *Vestnik akademii nauk respublikii Bashkortostan*, 35, 2(98): 77–87.
- Chernyshev V.M., Voevoda M.I., Strel'chenko O.V., Shalygina L.S., Mingazov I.F. 2021. O sostojanii zdorov'ja naselenija i zdravooхранeniya Sibirskogo federal'nogo okruga v period pandemii (nekotorye itogi 2020 goda) [On the state of health of the population and healthcare of the Siberian Federal District during the pandemic (some results of 2020)]. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal*, 41(6): 101–109. DOI: 10.18699/SSMJ20210612.
- Cohen J., van der Meulen Rodgers Y. 2020. Contributing factors to personal protective equipment shortages during the COVID-19 pandemic: *Preventive Medicine*, 141:106263. DOI: 10.1016/j.ypmed.2020.106263
- Fraher E.P., Pittman P., Frogner B.K., Spetz J., Moore J., Beck A. J., et al. 2020. Ensuring and sustaining a pandemic workforce. *The New England journal of medicine*, 382(23): 2181–2183. DOI: 10.1056/NEJMp2006376.
- McDermott K. 2021. Utilizing diagnostic pharmacists to support Family Medicine Walk-In clinics during the COVID-19 pandemic: *Journal of the American Pharmacists Association*, 62(2): 612–619. DOI: 10.1016/j.japh.2021.10.022
- Sindwani G., Suri A. 2021. Acute hospital oxygen shortage during COVID-19 pandemic surge: how can we prevent the apocalypse? *Brazilian Journal of Anesthesiology (English Edition)*, 72(2): 311–312. DOI: 10.1016/j.bjane.2021.10.003.

- Xu W., Wu J., Cao L. 2020. COVID-19 pandemic in China: Context, experience and lessons. *Health Policy and Technology*, 9(4): 639–648. DOI: 10.1016/j.hlpt.2020.08.006.
- Chutiyami M., Bello U.M., Salihu D., Ndwiga D., Kolo M.A., Maharaj R., et al. 2022. COVID-19 pandemic-related mortality, infection, symptoms, complications, comorbidities, and other aspects of physical health among healthcare workers globally: An umbrella review. *International Journal of Nursing Studies*, 129: 104211. DOI: 10.1016/j.ijnurstu.2022.104211.

**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

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

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

**Емельянова Елена Константиновна**, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры гигиены и экологии, Новосибирский государственный медицинский университет, г. Новосибирск, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

**Elena K. Emelyanova**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Hygiene and Ecology of the Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia



УДК 334.71

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-234-242

## Оценка уровня автоматизации производственных процессов на промышленных предприятиях в российских регионах

**Пиньковецкая Ю.С.**

Ульяновский государственный университет,  
Россия, 432000, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42  
E-mail: judy54@yandex.ru

**Аннотация.** Необходимость трансформации производственных процессов в промышленности обусловлена задачами существенного повышения производительности труда на сложных и трудоемких работах. Решение этой проблемы требует внедрения новых технологий, основанных на автоматизации процессов производства товарной продукции. В современных исследованиях при рассмотрении вопросов автоматизации производственных процессов мало внимания уделяется региональным особенностям использования промышленными предприятиями таких технологий, как радиочастотная идентификация и имитация человеческих действий. Целью данного исследования была оценка показателей, характеризующих современный уровень развития технологий, обеспечивающих автоматизацию производственных процессов на производственных предприятиях в регионах России. При этом были рассмотрены три группы технологий: технологии радиочастотной идентификации для мониторинга и управления производственными процессами, технологии для идентификации и отслеживания готовой продукции, технологии, имитирующие человеческие действия для целей автоматизации. В процессе исследования использовалась авторская методология оценки распределения удельных показателей по регионам на основе разработки математических моделей. Моделирование основывалось на официальной статистической информации по 82 регионам России за 2020 год. Исследование показало, что в 2020 году более четверти всех промышленных предприятий использовали технологии радиочастотной идентификации для мониторинга и управления производственными процессами. Каждое девятое предприятие использовало такие технологии для отслеживания готовой продукции. Каждое пятое предприятие внедрило автоматизацию производственных процессов, в том числе с использованием роботов. Полученные результаты вносят вклад в развитие теоретических аспектов оценки эффективности автоматизации технологических процессов, а также определения регионального уровня использования рассматриваемых технологий.

**Ключевые слова:** промышленное производство, автоматизация технологических процессов, радиочастотная идентификация, управление производственными процессами, регионы, функции нормального распределения

**Для цитирования:** Пиньковецкая Ю.С. 2022. Оценка уровня автоматизации производственных процессов на промышленных предприятиях в российских регионах. Экономика. Информатика, 49(2): 234–242. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-234-242

---

## Assessment of the Level of Automation of Production Processes at Industrial Enterprises in Russian Regions

**Yuliya S. Pinkovetskaia**

Ulyanovsk state university  
42 L. Tolstogo St, Ulyanovsk, 432000, Russia

**Abstract.** The need to transform production processes in industry is due to the tasks of significantly increasing labor productivity in complex and labor-intensive jobs. The solution to this problem requires the introduction of new technologies based on the automation of the production processes of marketable products. In modern research, when considering the issues of automation of production processes, little attention is paid to the regional peculiarities of the use by industrial enterprises of technologies such as radio frequency identification and

imitation of human actions. The purpose of this study was to evaluate the indicators characterizing the current level of development of technologies that ensure automation of production processes at manufacturing enterprises in the regions of Russia. At the same time, three groups of technologies were considered: radio frequency identification technologies for monitoring and controlling production processes, technologies for identifying and tracking finished products, technologies that simulate human actions for automation purposes. In the course of the study, the author's methodology for assessing the distribution of specific indicators by region was used based on the development of mathematical models. The simulation was based on official statistical information for 82 regions of Russia for 2020. The study showed that in 2020, more than a quarter of all industrial enterprises used radio frequency identification technologies to monitor and manage production processes. Every ninth company used such technologies to track finished products. Every fifth company has implemented automation of production processes, including the use of robots. The obtained results contribute to the development of theoretical aspects of evaluating the effectiveness of automation of technological processes, as well as determining the regional level of use of the technologies in question.

**Keywords:** industrial production, automation of technological processes, radio frequency identification, production process management, regions, normal distribution functions

**For citation:** Pinkovetskaia I.S. 2022. Assessment of the Level of Automation of Production Processes at Industrial Enterprises in Russian Regions. *Economics. Information technologies*, 49(2): 234–242. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-234-242

## Введение

В двадцать первом веке предприятия, относящиеся к промышленному сектору, стали широко внедрять технологии, связанные с автоматизацией производственных процессов. Особенно большое внимание уделяется технологиям, имитирующим человеческие действия для целей автоматизации. При этом используются автоматизированные линии и комплексы [Svensson et al., 2007; Lee et al., 2021; Enzi, Sardar, 2022], а также применяются различные модификации роботов [DeBacker et al., 2018; Cheng et al., 2019; Evjemo et al., 2020; Duong et al., 2021]. Вторым направлением автоматизации производственных процессов является использование технологий радиочастотной идентификации (РЧИ). Соответствующие технологические решения применяются для решения широкого круга задач беспроводного сбора данных считывателями с электронных меток, прикрепленных к объектам или встроенных в них, для идентификации и других целей [Domdouzis et al., 2007; Nayak et al., 2015; Mahmud et al., 2016]. Системы РЧИ включают специализированное оборудование, программное обеспечение, сетевые компоненты и компоненты баз данных, которые позволяют передавать информацию с меток в информационную инфраструктуру промышленных предприятий. Эти системы обеспечивают значительный эффект также в сфере безопасности и конфиденциальности. Особенно большое распространение получили РЧИ технологии в производственных цепочках поставок. Как показывают ранее проведенные исследования, выделяются два типа РЧИ технологий. Первые из них обеспечивают мониторинг и контроль производственных процессов [Mirshahi, Akbar, 2015; Haddud et al., 2015; Jiang et al., 2017; Yap et al., 2018], а вторые направлены на идентификацию и отслеживание готовой продукции [Stankovski et al., 2009; Bruce, Mcfarlane, 2009; Azevedo et al., 2014; Clancy et al., 2017].

Целью данного исследования являлась оценка показателей, характеризующих сложившийся в регионах России уровень развития технологий, обеспечивающих автоматизацию производственных процессов на промышленных предприятиях. При этом рассматривались три группы технологий: РЧИ технологии мониторинга и контроля производственных процессов, РЧИ технологии идентификации и отслеживания готовой продукции, технологии, имитирующие человеческие действия для целей автоматизации.

Структура нашей статьи выглядит следующим образом. Далее рассмотрены методология, исходные данные и дизайн исследования. Затем представлены результаты разработки математических моделей и оценки их качества, а также обсуждаются результаты исследования и приведена проверка сформулированных гипотез. Затем описываются выводы исследования и приводятся библиографические ссылки.



## Объекты и методы исследования

В нашем исследовании рассматривались промышленные предприятия, расположенные в регионах России. При этом анализировались показатели, характеризующие долю предприятий, использующих радиочастотную идентификацию и автоматизацию производственных процессов, в общем количестве предприятий, производящих товарную продукцию и расположенных во всех регионах России. К этим показателям относятся:

- доля предприятий, которые используют РЧИ технологии мониторинга и контроля производственных процессов в общем количестве всех промышленных предприятий, расположенных в регионе (показатель 1);
- доля предприятий, которые используют РЧИ технологии идентификации и отслеживания готовой продукции в общем количестве всех промышленных предприятий, расположенных в регионе (показатель 2);
- доля предприятий, которые используют технологии, имитирующие человеческие действия для целей автоматизации в общем количестве всех промышленных предприятий, расположенных в регионе (показатель 3).

Процесс исследования включал пять этапов. На первом этапе были сформированы исходные данные, описывающие количество промышленных предприятий, расположенных в каждом из регионов России в 2020 году, которые использовали указанные выше технологии. Кроме того, были сформированы данные об общем количестве промышленных предприятий по каждому региону России. На втором этапе были рассчитаны значения показателей, характеризующих удельный вес предприятий, которые в своей производственной деятельности использовали соответствующие технологии в общем количестве всех промышленных предприятий, расположенных в каждом из регионов. На третьем этапе были разработаны три модели, описывающие распределение вышеуказанных показателей по регионам России. На четвертом этапе были определены средние значения показателей по регионам, а также диапазоны, в которых находятся значения этих показателей для большинства из них. На пятом этапе были определены регионы, которые характеризовались максимальными и минимальными значениями показателей по данным за 2020 год.

В исследовании использовалась официальная статистическая информация [Наука, инновации и технологии].

В нашем исследовании были проверены следующие гипотезы:

Н1 – на промышленных предприятиях, расположенных в большинстве регионов России, рассматриваемые технологии получили определенное развитие в последние годы. Эти технологии использовались предприятиями во всех без исключения регионах России;

Н2 – наибольшее распространение среди рассмотренных технологий получили РЧИ технологии мониторинга и контроля производственных процессов;

Н3 – значения показателей, характеризующих использование трех рассмотренных типов технологий, различаются в зависимости от региона, в котором расположены предприятия. При этом коэффициенты вариации по каждому из трех показателей значительны (то есть превышают 33 %);

Н4 – регионы, характеризующиеся максимальным и минимальным значением показателей, описывающих уровень использования трех рассматриваемых технологий промышленными предприятиями, расположены в разных федеральных округах. То есть территориальное расположение регионов не влияет на максимальное и минимальное значение каждого из трех показателей.

Оценка распределений значений трех рассматриваемых показателей по регионам России проводилась на основе математического моделирования исходных эмпирических данных. В качестве моделей использовались функции плотности нормального распределения, метод разработки которых для оценки значений относительных показателей был представлен в статьях [Pinkovetskaia et al., 2021; Pinkovetskaia, 2022].

### Результаты и их обсуждение

В результате моделирования исходных эмпирических данных были разработаны три функции нормального распределения. Эти функции, демонстрирующие зависимости между распределениями  $(y_1; y_2; y_3)$  и тремя рассматриваемыми в процессе исследования показателями  $(x_1, \%; x_2, \%; x_3, \%)$ , приведены ниже:

– доля предприятий, которые используют РЧИ технологии мониторинга и контроля производственных процессов в общем количестве всех промышленных предприятий, расположенных в регионе

$$y_1(x_1) = \frac{925,71}{11,43 \times \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_1 - 26,63)^2}{2 \times 11,43 \times 11,43}}; \quad (1)$$

– доля предприятий, которые используют РЧИ технологии идентификации и отслеживания готовой продукции в общем количестве всех промышленных предприятий, расположенных в регионе

$$y_2(x_2) = \frac{231,43}{3,79 \times \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_2 - 11,07)^2}{2 \times 3,79 \times 3,79}}; \quad (2)$$

– доля предприятий, которые используют технологии, имитирующие человеческие действия для целей автоматизации в общем количестве всех промышленных предприятий, расположенных в регионе

$$y_3(x_3) = \frac{636,43}{9,42 \times \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_3 - 18,81)^2}{2 \times 9,42 \times 9,42}}. \quad (3)$$

Для определения качества разработанных функций (1)–(3) были использованы три теста (критерия качества): Колмогорова – Смирнова, Пирсона, Шапиро – Вилка. Расчетные значения статистик по этим тестам приведены в таблице 1. В этой же таблице представлены критические значения по каждому из тестов для уровня значимости 0,05.

Информация, приведенная в столбце 2 таблицы 1, показала, что все рассчитанные значения меньше критического значения по тесту Колмогорова – Смирнова. Аналогично критическое значение по тесту Пирсона (столбец 3) больше соответствующих расчетных статистик. Данные, приведенные в столбце 4, больше критического значения теста Шапиро – Вилка. Следовательно, можно сделать вывод, что разработанные функции распределения обладают высоким качеством по всем трем тестам.

На следующем этапе исследования проводилась оценка рассматриваемых показателей на основе разработанных функций. Значения показателей, средние по регионам России, приведены в колонке 2 таблицы 2. Средние значения были определены на основе функций (1)–(3). В третьем столбце таблицы 2 указаны стандартные отклонения для обсуждаемых показателей. Значения показателей, характеризующих верхнюю и нижнюю границы интервалов, соответствующих большинству регионов, приведены в столбце 4. Нижние границы рассчитываются как разница между средним значением и стандартным отклонением, а верхние границы – как сумма среднего значения и стандартного отклонения.

Приведенная информация показывает возможность оценки распределения показателей, характеризующих использование рассматриваемых технологий в деятельности российских промышленных предприятий, по регионам с использованием функций плотности нормального распределения.



Таблица 1  
 Table 1

Расчетные и критические значения статистик (расчеты проведены автором на основе функций (1)–(3))  
 Calculated and critical values of statistics (calculations are carried out by the author on the basis of functions (1)–(3))

Показатели	Расчетные значения		
	Тест Колмогорова – Смирнова	Тест Пирсона	Тест Шапиро – Вилка
1	2	3	4
доля предприятий, которые используют РЧИ технологии мониторинга и контроля производственных процессов в общем количестве всех промышленных предприятий, расположенных в регионе	0,07	3,94	0,96
доля предприятий, которые используют РЧИ технологии идентификации и отслеживания готовой продукции в общем количестве всех промышленных предприятий, расположенных в регионе	0,03	1,08	0,97
доля предприятий, которые используют технологии, имитирующие человеческие действия для целей автоматизации в общем количестве всех промышленных предприятий, расположенных в регионе	0,02	0,29	0,98
критические значения по тестам	0,174	9,49	0,93

Таблица 2  
 Table 2

Значения показателей, характеризующих уровни использования рассматриваемых технологий на промышленных предприятиях, % (расчеты проведены автором на основе функций (1)–(3))  
 Values of indicators characterizing the levels of use of the technologies in question at industrial enterprises, % (calculations are carried out by the author on the basis of functions (1)–(3))

Показатели	Средние по регионам значения	Стандартные отклонения значений	Значения, характерные для большинства регионов
1	2	3	4
доля предприятий, которые используют РЧИ технологии мониторинга и контроля производственных процессов в общем количестве всех промышленных предприятий, расположенных в регионе	26,63	11,43	15,20–38,06
доля предприятий, которые используют РЧИ технологии идентификации и отслеживания готовой продукции в общем количестве всех промышленных предприятий, расположенных в регионе	11,07	3,79	7,28–14,86
доля предприятий, которые используют технологии, имитирующие человеческие действия для целей автоматизации в общем количестве всех промышленных предприятий, расположенных в регионе	18,81	9,42	9,39–28,23

Анализ данных, представленных во второй таблице, позволяет охарактеризовать долю предприятий, использовавших технологии РЧИ и технологии, имитирующие человеческие действия для целей автоматизации в своей деятельности в 2020 году.

В среднем по рассматриваемым регионам показатель, характеризующий РЧИ технологии мониторинга и контроля производственных процессов, достиг 26,6 %. То есть каждое четвертое промышленное предприятие в России использовало такие технологии. В большинстве регионов значения этого показателя колебались от 15,2 % до 38,1 %. Причем эти технологии использовались предприятиями во всех без исключения регионах России, поскольку минимальное значение показателя, которое имело место в Магаданской области, составляло более пяти процентов.

Среднее по всем регионам значение показателя, характеризующего долю промышленных предприятий, использующих РЧИ технологии идентификации и отслеживания готовой продукции, в 2020 году составило 11,1 %. Следовательно, каждое девятое предприятие освоило такие технологии. В большинстве регионов значения этого показателя колебались от 7,3 % до 14,8 %. Наименьшее значение второго показателя также было в Магаданской области (четыре процента).

Среднее по всем регионам значение показателя, характеризующего долю промышленных предприятий, использующих технологии, имитирующие человеческие действия для целей автоматизации, составило 18,8 %. Следовательно, каждое пятое предприятие участвовало в автоматизации своих технологических процессов, в том числе за счет внедрения роботов, которые имитируют действия людей. В большинстве регионов этот показатель колебался от 9,4 % до 28,2 %. Наименьшее значение третьего показателя отмечалось на предприятиях, расположенных в Республике Дагестан (два процента).

Полученные результаты исследования позволяют нам сделать следующие выводы. На промышленных предприятиях, расположенных в большинстве регионов России, рассматриваемые технологии имели существенное развитие в последние годы. Эти технологии использовались предприятиями во всех без исключения регионах России. Даже в регионах с наименьшими значениями показателей уровень использования указанных технологий был выше двух процентов. Таким образом, можно констатировать, что первая гипотеза нашла свое подтверждение. Сравнение средних по регионам значений показателей продемонстрировало, что наибольшее распространение среди рассмотренных технологий получили РЧИ технологии мониторинга и контроля производственных процессов. Следовательно, вторая гипотеза подтвердилась.

Данные второй таблицы позволяют сделать вывод о дифференциации значений показателей по регионам. Была проанализирована степень вариации каждого из показателей. Для этой цели использовались стандартные отклонения, указанные в колонке 3. Индексы вариации следующие: по первому показателю – 43 %, по второму показателю – 34 %, по третьему показателю – 50 %. Этот анализ показал, что в рассматриваемых регионах уровень дифференциации значений всех трех показателей был выше 33 %, то есть очень значителен. То есть третья гипотеза подтвердилась.

На следующем этапе было проведено ранжирование регионов, которое позволило определить перечни тех из них, в которых были отмечены максимальные и минимальные значения каждого показателя. Максимальными значениями являются те, которые превышают верхние пределы диапазонов, указанных в столбце 4 таблицы 2, а минимальными значениями являются те, которые меньше нижних пределов указанных диапазонов. Результаты этого анализа приведены ниже. Ниже приведены регионы, на предприятиях которых были отмечены максимальные значения показателей:

– первый показатель – Воронежская область, Калужская область, Белгородская область, Краснодарский край, Республика Мордовия, Самарская область, Республика Калмыкия, Новгородская область, Московская область;



– второй показатель – Сахалинская область, г. Москва, Республика Ингушетия, Самарская область, г. Санкт-Петербург, Республика Калмыкия, Республика Адыгея, Московская область, Чеченская республика, Приморский край;

– третий показатель – Ярославская область, Тамбовская область, Псковская область, Республика Мордовия, Ставропольский край, Самарская область, Мурманская область, Владимирская область, Воронежская область, Вологодская область, Калужская область, Краснодарский край, Белгородская область.

Ниже приведены регионы, в которых были отмечены минимальные значения показателей:

– первый показатель – Магаданская область, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Крым, Республика Дагестан, Еврейская автономная область, Республика Тыва, Курская область, Камчатский край;

– второй показатель – Магаданская область, Кировская область, Новгородская область, Кабардино-Балкарская Республика, Алтайский край, Удмуртская Республика, Владимирская область, Республика Марий Эл, Республика Крым, Ивановская область, Орловская область, Костромская область, Брянская область;

– третий показатель – Республика Дагестан, Республика Тыва, Республика Ингушетия, Кабардино-Балкарская Республика, Амурская область, Камчатский край, Республика Бурятия, Забайкальский край, Хабаровский край, Республика Саха, Республика Северная Осетия-Алания.

Анализ расположения регионов с максимальными и минимальными значениями каждого из трех показателей свидетельствует, что они относятся к разным федеральным округам. То есть они расположены в разных территориальных частях России. Это позволяет нам сделать вывод, что четвертая гипотеза подтвердилась.

### Заключение

Цель данного исследования, связанная с оценкой показателей, характеризующих сложившийся в регионах России уровень развития технологий, обеспечивающих автоматизацию производственных процессов на промышленных предприятиях, была достигнута. В исследовании были рассмотрены три группы технологий, а именно РЧИ технологии мониторинга и контроля производственных процессов и РЧИ технологии идентификации и отслеживания готовой продукции, а также технологии, имитирующие человеческие действия для целей автоматизации. В нашем исследовании использовались официальные статистические данные по промышленным предприятиям, расположенным во всех 82 регионах России в 2020 году. В ходе исследования была предложена и внедрена методология оценки этих показателей с использованием функций плотности нормального распределения.

Наше исследование делает важный вклад в понимание региональных особенностей использования рассматриваемых технологий предприятиями в России. Были получены новые знания об уровне автоматизации производственных процессов на промышленных предприятиях. Исследование показало, что в 2020 году более четверти всех промышленных предприятий использовали РЧИ технологии мониторинга и контроля производственных процессов. Каждое девятое предприятие применяло РЧИ технологии идентификации и отслеживания готовой продукции. Каждое пятое предприятие внедрило технологии, имитирующие человеческие действия для целей автоматизации. Таким образом, можно сделать вывод, что значительное количество предприятий использовало в своей производственной деятельности рассматриваемые технологии. Эти технологии использовались во всех без исключения регионах России.

Наблюдалась существенная дифференциация значений трех рассматриваемых показателей по регионам. Поскольку коэффициенты вариации по всем показателям превышали 33 %, были определены регионы, которые характеризовались максимальными и минимальными значениями трех рассматриваемых показателей. Сравнительный анализ показал, что территориальное расположение регионов не влияет на максимальные и минимальные значения показателей.

Практическая значимость исследования для государственных и региональных органов власти заключается в учете особенностей развития автоматизации производственных процессов на промышленных предприятиях, расположенных во всех регионах России. Результаты работы могут быть использованы в деятельности федеральных и региональных структур, связанных с модернизацией существующих предприятий и внедрением новых технологических процессов, а также обоснованием выделения дополнительных ресурсов регионам с низким уровнем использования рассмотренных технологий. Дальнейшее развитие этих технологий в России, на наш взгляд, должно быть связано с оснащением промышленных предприятий оборудованием, позволяющим автоматизировать наиболее трудоемкие и опасные процессы. Кроме того, необходимо предоставление всем субъектам хозяйствования информации об эффективных инновационных технологиях, получивших распространение в регионах России, а также объяснение конкурентных преимуществ, связанных с их внедрением.

Полученные новые знания представляют интерес и могут быть использованы в образовательных программах высшего образования по проблемам автоматизации производственных процессов. Методология, предложенная в исследовании, может быть использована странами с большим количеством территориальных образований для проведения сравнительного анализа показателей.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на определение тенденций и закономерностей изменения показателей, рассматриваемых в данной статье, в последующие годы. Кроме того, особый интерес представляет оценка показателей использования технологий предприятиями, расположенными в отдельных муниципальных образованиях, относящихся к каждому из регионов России. Для такой оценки может быть использован методологический подход, основанный на разработке функций плотности нормального распределения, который приведен в данной работе.

### Список источников

Наука, инновации и технологии. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14478> (дата обращения: 25 марта 2022).

### References

- Azevedo S.G., Prata P., Fazendeiro P. 2014. The role of radio frequency identification (RFID) technologies in improving process management and product tracking in the textiles and fashion supply chain. *Fashion Supply Chain Management Using Radio Frequency Identification (Rfid) Technologies*. Amsterdam. Woodhead Publishing Limited, 42–69.
- Bruce J., Mcfarlane D.C. 2009. Effective RFID-based Object Tracking for Manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22 (07): 638–647.
- Cheng H., Jia R., Li D., Li H. 2019. The Rise of Robots in China. *The Journal of Economic Perspectives*, 33 (2): 71–88.
- Clancy J., Bibi F., Guillaume C., Gontard N., Sorli B. 2017. A review: RFID technology having sensing aptitudes for food industry and their contribution to tracking and monitoring of food products. *Trends in Food Science and Technology*, 62: 91–103.
- DeBacker K., DeStefano T., Menon C., Suh J.R. 2018. Industrial robotics and the global organisation of production. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2018/03, Paris, OECD Publishing, 44 p.
- Domdouzis K., Kumar B., Anumba C. 2007. Radio-Frequency Identification (RFID) applications: A brief introduction. *Advanced Engineering Informatics*, 21: 350–355.
- Duong Q.K., Trang T.T., Pham T.L. 2021. Robot Control Using Alternative Trajectories Based on Inverse Errors in the Workspace. *Journal of Robotics*, 2021 (9995787): 1–8.
- Enzi A., Sardar A. 2022. Automated Production Line Reliability Analysis of the Crankshaft Manufacturing Process. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 16 (1): 15–27.
- Evjemo L.D., Gjerstad T., Grotli E.I., Sziebig G. 2020. Trends in Smart Manufacturing: Role of Humans and Industrial Robots in Smart Factories. *Current Robotics Reports*, 1: 35–41.
- Haddud, A., Dugger J.C., Lee H. 2015. *Lee Manufacturing Control, Asset Tracking, and Asset Maintenance*:



- Assessing the Impact of RFID Technology Adoption. *Journal of International Technology and Information Management*, 24 (2): 35–54.
- Jiang Z., Liu Y., Liu J., Li Y. 2017. Study of manufacturing resource perception and process control of a radio-frequency-identification-enabled decentralized flexible manufacturing system. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(1): 1–12.
- Mahmad M.K., Rozainy M.R., Baharun N. 2016. Applications of Radio Frequency Identification (RFID) in Mining Industries. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 133 (012050): 1–6.
- Mirshahi S., Akbar A. 2015. Application of RFID System for the Process Control of Distributed Manufacturing System. *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. IEEE CCECE*, 1–6.
- Lee J.-D., Hsu H.-Y., Li C.-Y., Yang J.-Y. 2021. Design and Implementation of Intelligent Automated Production-Line Control System. *Electronics*, 10 (2502): 1–17.
- Nayak R., Singh A., Padhye R., Wang L. 2015. RFID in textile and clothing manufacturing: technology and challenges. *Fashion and Textiles*, 2 (9): 1–16.
- Pinkovetskaia I., Nuretdinova Y., Nuretdinov I., Lipatova N. 2021. Mathematical modeling on the base of functions density of normal distribution. *REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA*, 12 (33): 34–49.
- Pinkovetskaia I. 2022. Estimation of the share of women in the number of students of higher educational institutions: data by regions of Russia. *Perspectivas em Diálogo*, 09 (19): 7–20.
- Stankovski S., Lazarevic M., Ostojic G., Cosic I., Puric R. 2009. RFID technology in product/part tracking during the whole life cycle. September. *Assembly Automation*, 29 (4): 364–370.
- Svensson B., Danielsson F., Lennartson B. 2007. OffLine Optimisation of Complex Automated Production Lines-Applied on a Sheet-Metal Press Line. *IEEE Xplore, Conference Assembly and Manufacturing. ISAM '07. IEEE International Symposium*.
- Yap Z.-H., Low F.-S., Chong H.-Y. 2018. Case study: lean-RFID based waste identification system on example of small-medium manufacturing industries. *Management and Production Engineering Review*, 9 (2): 52–68.

**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

**Пиньковецкая Юлия Семеновна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономического анализа и государственного управления, Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Iuliia S. Pinkovetskaia**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic Analysis and State Management, Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russian

# ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

## INVESTMENT AND INNOVATIONS

УДК 004.032

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-243-255

### Информационное обеспечение органов государственной власти РФ

**Валова Ю.И., Жмуркин И.М.**

Московский государственный областной университет

Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 10А

E-mail: guilett@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время от органов государственной власти как никогда требуется принятие оперативных управленческих решений. Для этого необходимы не только информационная компетентность некоторых государственных служащих, а также целесообразное использование информации, но и знания о наличии соответствующих информационных систем. В связи с этим автор проводит исследование в этой области, излагая характеристику тех систем, которые востребованы не только органами власти, но и обществом в целом. Важную роль для обмена информацией играет структура самого информационного процесса. Вопросы информационного обеспечения различных российских федеральных органов исполнительной власти, в частности, Федеральной налоговой службы (ФНС), Федерального казначейства, Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), а также информационные системы Федеральной службы государственной статистики (Росстат) и Министерства энергетики Российской Федерации (Минэнерго России) включают различные аспекты интеграции. Целью данного исследования является изучение всех аспектов, связанных с информационным обеспечением, для устранения пробелов в данном направлении. Рассмотрена правовая основа внедрения данных информационных систем, а также цели и задачи их внедрения. Особое внимание уделяется информационной безопасности, также на примере информационной системы Министерства энергетики ГИС ТЭК рассматривается процесс обеспечения информационной безопасности. В результате исследования доказана необходимость интеграции между различными информационными системами для непрерывного контакта между государственными органами. Данное исследование может быть полезно и интересно при изучении дисциплин, связанных с информационными технологиями в управлении.

**Ключевые слова:** информация, стратегия, система, безопасность, оператор, власть, автоматизация, интеграция, внедрение, хранение

**Для цитирования:** Валова Ю.И., Жмуркин И.М. 2022. Информационное обеспечение органов государственной власти РФ. Экономика. Информатика, 49(2): 243–255. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-243-255

## Information Support of State Authorities of the Russian Federation

**Yulia I. Valova, Ivan M. Zhmurkin**

Moscow State Regional University

10A Radio St, Moscow, 105005, Russia,

E-mail: guilett@mail.ru

**Abstract.** The structure of the information process itself plays an important role for the exchange of information. Issues of information support for various Russian federal executive authorities, in particular, the Federal Tax Service (FTS), the Federal Treasury, the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology (Rosstandart), as well as information systems of the Federal State Statistics Service (Rosstat) and the



Ministry of Energy of the Russian Federation (Ministry of Energy of Russia) include various aspects of integration. The purpose of this study is to study all aspects related to information support in order to eliminate gaps in this direction. The legal basis for the implementation of these information systems, as well as the goals and objectives of their implementation are considered. Special attention is paid to information security, also, the process of ensuring information security is considered on the example of the information system of the Ministry of Energy GIS Fuel and Energy Complex. As a result of the research, the need for integration between various information systems for continuous contact between government agencies is proved.

**Keywords:** information, strategy, system, security, operator, power, automation, integration, implementation, storage

**For citation:** Valova Yu.I., Zhmurkin I.M. 2022. Information Support of State Authorities of the Russian Federation. Economics. Information technologies, 49(2): 243–255 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-243-255

## Введение

Каждый российский гражданин имеет конституционное право на информацию, в т. ч. и о решениях, принятых органами государственной власти. Поэтому соблюдение закреплённых в Конституции РФ прав должно установить равноправные отношения между обществом и властью. В связи с этим возникает вопрос – а насколько органы власти открыты и прозрачны в своём информационном пространстве. В настоящее время существует огромное количество информационных систем (по данным Федеральной государственной информационной системы координации информатизации в России на конец 2019 года имелось 876 ГИС федерального уровня), т. к. каждая властная структура имеет свой сайт. Вследствие этого возникают определённого рода сложности.

Во-первых, в поиске достоверной и актуальной информации. Создание этих информационных систем изначально предполагало повысить эффективность государственного и муниципального управления, а также ускорить процесс обмена информацией между органами государственной власти, юридическими и физическими лицами. Информационная неопределённость, дефицит информации и, наконец, некорректная информация никак не должны оправдывать неэффективные управленческие решения органов власти. Тем более, это информационное обеспечение образует информационный государственный ресурс.

Во-вторых, существует очень много вопросов в оценке эффективности работы данных информационных систем и её целесообразности. Сложность возникает в том, что назначение этих систем отличное от информационных систем коммерческих предприятий. Все коммерческие предприятия при разработке и установке информационных систем преследуют цель не только в повышении качества их работы, но и получения прибыли. Для государственных же учреждений цели иные, не экономические. Кроме того, отсутствует единый ресурс о затратах ведомств на создание, развитие и эксплуатацию государственных информационных систем.

В-третьих, большая часть государственных информационных систем в России не имеет общедоступных сведений об их назначении, т. е. зачем они создавались в принципе?

Данное исследование не охватывает все проблемы, связанные с работой информационных систем, а лишь обращает внимание на вопросы открытости, назначения и наличия сведений о государственных информационных системах. Научная новизна исследования состоит в том, что авторы разработали сводную характеристику по целям и задачам востребованных государственных информационных систем, представлены агрегированные данные по расходам на эти системы, а также оценка открытости некоторых ведомств.

Для каждой организации с целью эффективного управления необходимо обеспечить либо хозяйствующий субъект, либо государство в целом актуальной, полной и достоверной информацией. Информация – это один из инструментов управления в организации, поэтому от того, как пользуются этим инструментом, во многом зависит воплощение принятых решений. Соответственно, чем больше необходимой информации мы получаем, тем больше вариантов решений имеет субъект управления. Необходимость непрерывного изучения всех ас-

пектов, связанных с информационным обеспечением, обусловлена устранением пробелов в данном направлении. Корпоративные структуры и органы государственного управления рассматривают информацию в качестве важного фактора успеха в предпринимательской деятельности, выработке управленческих решений и повышении качества услуг, оказываемых населению. Информационные технологии проникли во все сферы жизни людей. Само общество становится все более цифровым и предъявляет все более высокие требования к функционирующим и разрабатываемым информационным системам.

Существует большое количество определений понятия «информация», однако одним из основоположников в области информационной теории стал американский учёный Ральф Хартли. В 1928 году он сформулировал понятие «мера информации», а в дальнейшем Хартли развивал информацию с точки зрения электронной коммуникации. В свою очередь, американский инженер, криптоаналитик Клод Шеннон даёт свое определение следующим образом – «информация представляет из себя сообщение, которое передаётся через каналы связи» [Шеннон К., 1963]. Данное сообщение также имеет свою ценность, однако, по его мнению, важность и ценность сообщения определяется не содержанием и смыслом, а неожиданностью и необычностью сигнала. Однако это не единственное определение понятия «информация». Рассмотрим еще несколько определений.

Один из основоположников кибернетики и искусственного интеллекта, американский математик Норберт Винер представляет информацию как «обозначение содержания, полученное нами из внешнего мира в процессе приспособления к нему нас и наших чувств» [Винер, 1983].

Многие умы придавали данному понятию различные качества, перечисленные ранее определения действительно могут существенно отличаться, однако стоит отметить, что они сходятся в том, что информация представляется из себя некие данные, систематизированные определенным образом и передающиеся по каким-либо каналам связи до своего адресата.

Теперь обратимся к правовой части в понимании информации. Согласно Федеральному закону № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», «информация – сведения (сообщения, данные) независимо от формы их представления». Любая информация проходит различного рода этапы – это обработка, хранение, корректировка, анализ, оценка и т. д. В совокупности все действия, связанные с информацией, можно обозначить как информационную систему в целом. Наиболее точное определение закреплено Федеральным законом № 149-ФЗ и выглядит оно следующим образом: «информационная система – совокупность содержащейся в базах данных информации и обеспечивающих ее обработку информационных технологий и технических средств».

На основании вышеизложенного, можно заключить, что информационная система – это интегрированные между собой инструменты по хранению, обработке и предоставлению информационных ресурсов, предназначенные для достижения целей создания системы или целей управления. На данном этапе развития информационных систем существенная часть из них имеют дело не с информацией как таковой, а непосредственно с данными, то есть с необработанными сведениями. В связи с этим подобные системы могут называться не информационными системами, а системами обработки данных.

Информационное обеспечение – весьма широкое понятие, можно сказать, что это некий непрерывный процесс по предоставлению, обновлению и актуализации различного рода информации. Информационным обеспечением можно считать совокупность решений «по объему и размещению информации, которая передается в системе управления. Это оперативная и нормативно-справочная информация, классификаторы технико-экономической информации и документы» [Калошина, 2020].

### Основная часть

С использованием цифровых технологий изменяются повседневная жизнь человека, производственные отношения, структура экономики и образование, а также возникают новые требования к коммуникациям, вычислительным мощностям, информационным системам и сервисам [Валова, 2021]. Первым стратегическим документом, определившим направления развития

информационного общества в России, стала стратегия развития информационного общества в РФ. В результате этого органы государственной власти РФ, бизнес и граждане начали интенсивно применять информационные и коммуникационные технологии. Помимо этого, в данной стратегии закреплены и основные направления развития информационных систем, которые, в свою очередь, могут меняться по мере появления новых технологий. К этим направлениям относятся: конвергенция сетей связи и создание сетей связи нового поколения, обработка больших объёмов данных, искусственный интеллект, доверенные технологии электронной идентификации и аутентификации, в т. ч. в кредитно-финансовой сфере, облачные и туманные вычисления, интернет вещей и индустриальный интернет, информационная безопасность и т. д.

В наше время самым эффективным методом сбора, хранения и предоставления информации для органов государственной власти является использование интегрированных автоматизированных информационных систем. На рисунке 1 схематически представим некоторые информационные системы, которые находятся в распоряжении органов государственной власти. Данные информационные системы обладают широким масштабом ресурсов, хранящим в себе большое количество полезной информации, касающейся совершенно различных сфер деятельности. При создании всех информационных систем решалась одна общая задача – обеспечить доступ с помощью сети Интернет всем государственным, региональным и муниципальным органам власти, а также юридическим и физическим лицам к официальной статистической информации для повышения эффективности реализации и решения своих специфических задач.



Рис. 1. Интегрированные автоматизированные информационные системы для органов государственной власти РФ

Fig. 1. Integrated automated information systems for public authorities of the Russian Federation

Разумеется, создание каждой системы изначально преследовало определенные цели, относящиеся к конкретной информационной системе, однако стоит определить схожие цели, которые можно причислить к каждой информационной системе.

Во-первых, внедрение информационных систем позволяет существенно ускорить работу государственного органа в целом.

Во-вторых, упростить процесс документооборота.

В-третьих, обеспечить более высокое качество функционирования государственных органов.

В-четвертых, обеспечить открытый доступ к необходимой информации для пользователей.

Предлагается более подробно рассмотреть принцип работы каждой из перечисленных информационных систем.

#### *ЕМИСС Росстата. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС)*

В данной информационной системе собирается огромное множество различного рода статистической информации, предоставляемой государственными информационными статистическими ресурсами. Весь сбор статистической информации проходит в соответствии с Федеральным планом статистических работ, это организовано как на уровне субъектов РФ, так и на федеральном уровне. Система открыта и публична, ей могут пользоваться рядовые пользователи, которым достаточно иметь доступ в сеть Интернет, различные ведомства и подведомственные организации, хозяйствующие субъекты, средства массовой информации. ЕМИСС функционирует уже более 10 лет, она была разработана и введена в эксплуатацию в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 367. Оператором назначено Министерство связи и массовых коммуникаций РФ.

Данная система включает в себя большое множество различных показателей. Перечислим некоторые:

- количество организаций с веб-сайтом или организации, присутствующие в интернете, где бизнес имел контроль за контентом;
- совокупный доход домашних хозяйств, в среднем на одного члена домашнего хозяйства за один месяц;
- средневзвешенная процентная ставка по ипотечным жилищным кредитам в рублях, выданным с начала года;
- среднемесячные фактические ставки по кредитам, предоставленным московскими банками в долларах США (MIACR USD);
- средства материнского капитала, которые направлены на формирование накопительной пенсии.

Как можно заметить, показатели присутствуют по различным данным, собранным с большого множества ведомств. Таких ведомств, министерств, агентств и других органов, с которых собирается статистическая информация, насчитывается порядка 150 штук. Например, МВД РФ, Министерство РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Федеральная антимонопольная служба, которая в свою очередь предоставляет следующие показатели:

- информация об осуществлении государственного контроля (надзора);
- полезный отпуск – продажа отдельным категориям потребителей электрической и тепловой энергии;
- отпуск (передача) электроэнергии потребителям распределительными сетевыми организациями;
- оплата граждан за коммунальные услуги.



### *Федеральная государственная информационная система Росстандарта (ФГИС)*

Основное назначение этой системы заключается в улучшении качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности. ФГИС Росстандарта разработана в соответствии с Концепцией информатизации деятельности Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии на период до 2018 года.

Данная система подразделяется на три части для различных областей деятельности.

ФГИС «Береста» является *первым элементом* этой системы и разрабатывалась она для осуществления полномочий Росстандарта в сфере стандартизации. Данный элемент информационной системы необходим для того, чтобы автоматизировать все процессы, связанные с национальной системой стандартизации, представляющей собой множество национальных стандартов и классификаторов.

Основная цель *второго элемента* системы ФГИС «Аршин» – организация деятельности Росстандарта в сфере обеспечения единства измерений. Данная часть ФГИС призвана обеспечить достаточную автоматизацию процессов при координации деятельности агентства в сфере обеспечения единства измерений. На данный момент «Аршин» способен предоставлять ряд государственных услуг в данной области в электронном формате, в онлайн-режиме, а также создавать универсальные информационные базы.

*Третий элемент* системы ФГИС «Контур» разработан в целях осуществления полномочий Росстандарта в сфере управления кадрами, имуществом, проектной и финансово-хозяйственной деятельности. Помимо этого, элемент позволяет автоматизировать управленческие процессы Росстандарта и его подведомственных организаций, в их число, по большей части, входят научно-исследовательские институты, ведущие деятельность в сфере статистики, метрологии и др. «Контур» состоит из шести модулей, отвечающих за определенную область.

1. Модуль «Программы развития»;
2. Модуль «Управление проектами (программами)»;
3. Модуль «Управление закупками»;
4. Модуль «Управление имуществом»;
5. Модуль «Управление клиентами»;
6. Модуль «Управление персоналом».

### *ГИИС «Электронный бюджет» Федерального казначейства*

Данная система позволяет обеспечить максимальную открытость и прозрачность деятельности государственных органов при управлении государственными денежными средствами, а также государственными внебюджетными фондами. Денежные средства, поступающие из бюджета, предназначены для финансового обеспечения задач и функций государства в производственной области, сельского хозяйства, транспорта, социальной защиты населения, обеспечения воспроизводства природных ресурсов и во многих социально-экономических сферах [Васильева, 2019]. Помимо этого, благодаря данной системе существенно возросла эффективность финансового управления. Таких улучшений удалось добиться благодаря формированию так называемого единого информационного пространства.

В этой системе с легкостью можно получить данные по доходам бюджета, рассмотреть динамику доходов бюджета, такие же операции можно проверить и с расходами. Это лишь самые очевидные показатели, множество других данных также можно получить с помощью данной информационной системы.

Таким образом, любой желающий может обратиться к данной системе и получить доступ к большому количеству информации, касающейся бюджета РФ.

### *АИС «Налог-3» Федеральной налоговой службы*

В настоящее время ФНС России считается одним из самых технологичных ведомств, во многом благодаря системе АИС Налог-3. С её помощью ведомство принимает, обрабаты-

вает, предоставляет различную информацию, анализирует данные, формирует отчеты. Разработчиком является Главный научно-инновационный внедренческий центр (ГНИВЦ). Своё развитие данная система получила ещё в 2010 году, с течением времени она постоянно совершенствовалась, и крайняя модернизация состоялась в 2019 году. С 2014 года, в связи с началом действия санкций западных стран и появившимися рисками их влияния на устойчивую работу АИС «Налог-3», развитие архитектуры стало двигаться в направлении открытого программного обеспечения. Все новые проекты создавались с использованием программных продуктов экосистемы Nadoop и СУБД с открытыми кодами (MongoDB, PostgreSQL). Программное обеспечение, построенное на этом стеке технологий, обеспечивает прием и обработку почти 12 млрд сведений из книг покупок-продаж ежегодно, более 120 млн чеков ежедневно. По открытому API ежедневно обрабатывается более 2 млн запросов к сведениям о чеках и более 1 млн запросов к сведениям о самозанятых.

### ГИС ТЭК Министерства энергетики

Информационная система предназначена для автоматизации процессов сбора, обработки информации в целях включения в ГИС ТЭК, хранения такой информации, обеспечения доступа к ней, ее предоставления и распространения, повышения эффективности обмена информацией о состоянии и прогнозе развития ТЭК. На рисунке 2 представим структуру ГИС ТЭК.

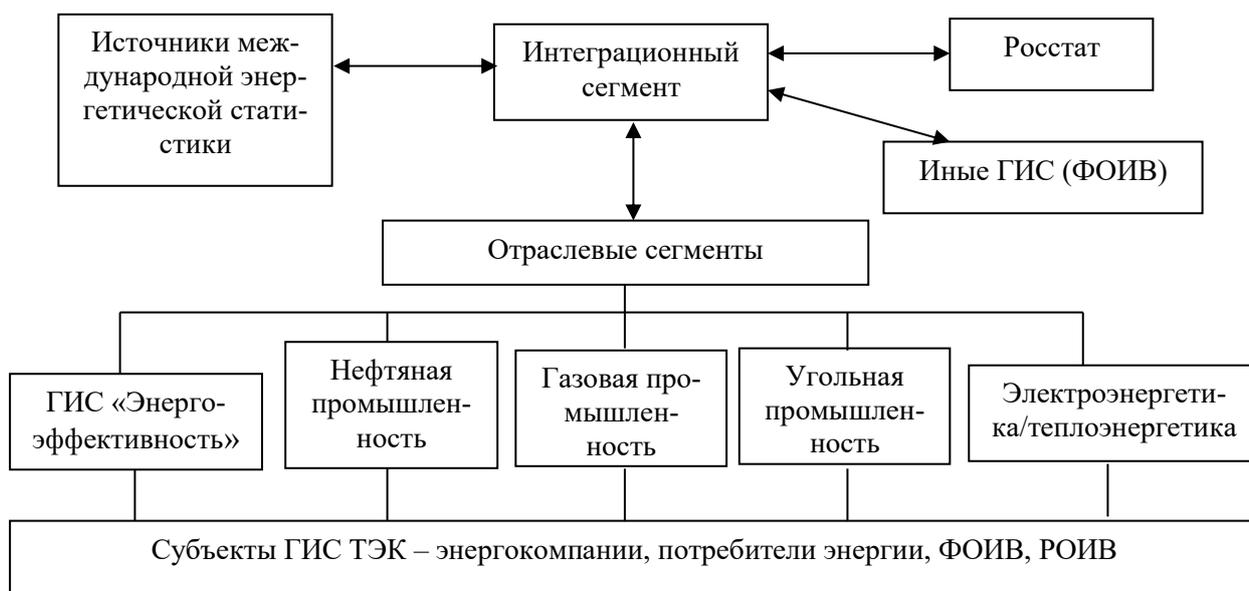


Рис. 2. Структура ГИС ТЭК  
Fig. 2. Structure of GIS Fuel and energy complex

Как видим, ГИС ТЭК обеспечивает информационную поддержку в принятии управленческих решений и их реализацию в сфере топливно-энергетического комплекса, в том числе и смежных отраслей экономики.

### Информационная безопасность

Информационная безопасность состоит из трёх основополагающих элементов: конфиденциальность, целостность и доступность. В свою очередь, каждый элемент выполняет определенные функции. Например, конфиденциальность предполагает обеспечение доступа к информации только авторизированным пользователям; целостность подразумевает обеспечение достоверности и полноты информации и методов её обработки; доступность – обеспечивает доступ к информации и связанным с ней активам по мере необходимости.

Однако как электронные, так и физические данные могут быть использованы не по назначению и во вред носителям этой информации. В связи с этим каждая информационная система должна обеспечивать должный уровень безопасности информации. Вопрос информационной безопасности необходимо прорабатывать при разработке абсолютно любой информационной системы. Информационная безопасность является одним из инициативных направлений национального проекта «Цифровая экономика». В 2021 году для поддержки и благоприятного развития этого инициативного направления была создана и утверждена Президентом РФ «Стратегия национальной безопасности Российской Федерации». Суть данной стратегии заключается в сохранении национальных интересов и социально-экономическом развитии страны. Чуть позже, в связи с участвовавшими компьютерными атаками на российские информационные ресурсы, Правительством РФ были приняты дополнительные меры, так называемый «второй пакет мер господдержки IT-отрасли» или «дорожная карта». Эти меры направлены на развитие и внедрение российских разработок в медицинские, образовательные сервисы и т. д. Параллельно с этим для некоторых сегментов IT-рынка предусмотрены следующие меры:

- во-первых, снятие ограничений и барьеров для использования современных цифровых решений с подтверждением законодательной базы;
- во-вторых, финансирование создания российских цифровых платформ и типовых решений для бюджетных организаций;
- в-третьих, введение отраслевых цифровых стандартов, определяющих необходимый уровень цифровизации соответствующих процессов и устанавливающих преимущественное использование для них российских программных продуктов и оборудования;
- в-четвёртых, подготовка кадров для отдельных отраслей экономики, необходимых для внедрения современных цифровых решений.

Основной целью обеспечения информационной безопасности следует выделить обеспечение защищенности информационных активов (рис. 3).



Рис. 3. Актив информационных систем  
Fig. 3. Activation of information systems

Следует отметить, что безопасность актива информационных систем сопровождается на всё время функционирования информационных систем: создание, обработка, хранение, передача, уничтожение.

При обеспечении безопасности информационных систем принято пользоваться следующими принципами:

- системность;
- рациональность;
- прозрачность и конфиденциальность;
- непрерывность, обучение и накопление опыта;
- прогнозируемость и функциональная взаимосвязанность;
- своевременность, оперативность, адекватность;
- контроль.

Соблюдение данных принципов позволяет обеспечить функционирование системы как одного целого, охватывающего управленческие и организационные решения для управления, а также для постоянного непрерывного совершенствования безопасного функционирования с возможностью быстрого реагирования на внештатные ситуации.

Оперативное реагирование является одним из важнейших факторов, нивелирующих возможность возникновения негативных последствий, то есть «обнаружение деструктивного воздействия – принятие решения – реакция системы» должны опережать реализацию деструктивного воздействия нарушителем информационной безопасности [Закалкин и др., 2016].

Для эффективного обеспечения безопасности информации в государственных информационных системах необходимы следующие мероприятия:

- формирование требований к защите информации, содержащейся в ГИС;
- разработка системы защиты информации (далее – СЗИ) в ГИС;
- внедрение СЗИ в ГИС;
- аттестация ГИС по требованиям защиты информации и ввод ее в действие;
- обеспечение защиты информации в ходе эксплуатации аттестованной ГИС [Старикова, 2017].

Так, на примере информационной системы Министерства энергетики ГИС ТЭК рассмотрим процесс обеспечения информационной безопасности. Первая очередь ГИС ТЭК введена в эксплуатацию в октябре 2019 г., вторая очередь данной информационной системой введена в апреле 2020 г.

Описание обеспечения безопасности информации и доступа к ней можно увидеть в положении о порядке доступа к информации, содержащейся в государственной информационной системе топливно-энергетического комплекса, утвержденного постановлением Правительства РФ от 04.02.2013 № 80 «О порядке доступа к информации, содержащейся в ГИС ТЭК». В данном положении установлен порядок доступа к информации государственными органами, юридическими и физическими лицами и другими пользователями системы. Информационная система топливно-энергетического комплекса аттестована по требованиям безопасности информации и имеет Аттестат соответствия № И-28/16 от 16 декабря 2016 года. Помимо этого, на основании нормативных документов ФСБ и ФСТЭК были разработаны организационно распорядительные документы ФГБУ «РЭА» Минэнерго России по защите информации в ГИС ТЭК:

- Инструкция администратора информационной безопасности;
- Инструкция пользователя по обеспечению безопасности информации;
- Порядок защиты от вредоносного кода;
- Правила оповещения и повышения квалификации кадров;
- Порядок обеспечения с помощью криптосредств безопасности информации ограниченного доступа;
- Порядок обнаружения и предотвращения вторжений;
- Порядок работы с машинными носителями информации;
- Порядок резервирования и восстановления информационных ресурсов;
- Порядок управления доступом к информационным ресурсам;
- Порядок управления конфигурацией ГИС ТЭК;
- Порядок эксплуатации средств защиты информации по обеспечению безопасности и информации;
- Регламент применения электронной подписи;
- Процесс мониторинга событий;
- Процесс управления инцидентами информационной безопасности.

Представленные документы регламентируют действия по обеспечению безопасности данных, хранящихся в системе, а также дают представления о необходимых действиях для недопущения и предотвращения кризисных ситуаций.



### Оценка эффективности работы ГИС

Далее, прежде чем приступить к оценке эффективности работы ГИС, необходимо знать, что главная цель создания этих систем всё же повышение качества предоставления государственных услуг, открытость, результативность и качество принимаемых управленческих решений, в т. ч. и для удаленных территорий. Следовательно, эффективность работы данных систем может оцениваться только в рамках поставленных целей, которые у каждого ведомства свои (Росстат – предоставить актуальную и необходимую статистическую информацию, ФНС – создать благоприятные условия для своих налогоплательщиков по соблюдению своих обязанностей, Росстандарт – защита прав потребителей в области контроля над соблюдением требований безопасности товаров и т. д.). В рамках данной работы целесообразно рассмотреть объём расходов на государственные информационные системы по категориям. В таблице 1 приведем данные по расходам на создание, развитие и эксплуатацию государственных информационных систем. За 2020–2021 гг. информация по расходам авторами не указывалась ввиду её отсутствия на портале ГИИС «Электронный бюджет».

Таблица 1  
Table 1

Категории расходов на государственные информационные системы в целом, млн руб.  
 Categories of expenditures on state information systems in general, million rubles

Категория расходов	2018 год	2019 год
Затраты на создание	2921	6383
Затраты на развитие	12938	19619
Затраты на эксплуатацию	13105	17199
Суммарные затраты	28964	43201

Достаточно высокий темп роста бюджета в 2019 году обусловлен тем, что сюда включены расходы по мероприятиям национальной программы «Цифровая экономика». Отсутствие единого ресурса, учитывающего траты ведомств на создание, развитие и эксплуатацию ГИС в полном объеме, очень затрудняет их поиск, так как финансирование такого рода расходов может проходить по разным статьям госбюджета. Помимо того, непрозрачность затрат на ГИС некоторые эксперты связывают с низким качеством открытой информации, публикуемой на порталах ФГИС КИ и ГИИС «Электронный бюджет».

В таблице 2 представлены лидеры по объему расходов на информационные технологии. Росстат на эти цели потратил 8,9 млрд рублей, ФНС – 7,12 млрд рублей, а Федеральное казначейство – 7,03 млрд рублей. При этом в рейтинге учтены не только расходы на информационные технологии, учитываемые в официальной статистике, но и те средства, которые идут на информатизацию и цифровизацию через субсидии подведомственным учреждениям. В пятерку лидеров по объему расходов также вошли Судебный департамент при Верховном Суде РФ, сумма расходов которого составляет 4,63 млрд рублей, и Минкомсвязь РФ с расходами в 4,14 млрд рублей.

Таблица 2  
Table 2

Лидеры по объему расходов на информационные технологии, млрд руб.  
 Leaders in terms of spending on information technology, billion rubles

Наименование органа государственной власти	2019 год	2020 год	2021 год
Росстат	2,07	2,07	8,9
ФНС России	19,3	17,4	7,12
Казначейство	9,88	9,82	7,03
СД при ВС РФ	5,37	5,56	4,63
Минкомсвязь	13,44	19,46	4,14
МВД России	6,79	9,94	3,82
ПФР	15,06	9,49	2,75

Одним из основных критериев по оценке работы ГИС является их открытость. Правительство РФ в постоянном режиме работает над переходом от оценки формальной открытости к более качественным показателям и уже с 2020 года включили такие новые критерии оценки открытости, как оценка пользовательского опыта, понятности языка, на котором написаны ответы ведомств на запросы граждан и так далее. В таблице 3 представим, как по уровням открытости данных происходит распределение ФОИВ.

Таблица 3  
Table 3

Распределение ФОИВ по уровням открытости данных, 2019–2021 гг.  
Distribution of FOI by levels of data openness, 2019–2021

Уровень / Год	2019 год	2020 год	2021 год
Группа А	22	18	55
Группа Б	37	43	8
Группа С	13	11	7

Каждая ГИС была причислена к одной из четырех категорий: А, В, С или D, где А означает высокую степень открытости, В – среднюю, С – низкую, D – отсутствие необходимой для оценки информации, в том числе в публичном доступе. Главными причинами неудовлетворительной оценки ФОИВ являются отсутствие данных в разделе «Открытые данные» при наличии самого раздела. По результатам оценки за 2020 год улучшились практики раскрытия данных практически у всех анализируемых органов власти. Количество органов власти, которые получили оценку А, увеличилось за год втрое, с 18 до 55. Уровень А означает, что орган власти прикладывает существенные усилия по работе с открытыми данными. Эти ФОИВ публикуют не только минимально требуемые наборы данных по «формальному» списку, но и раскрывают данные в своих информационных системах, на собственном сайте, поддерживают актуальность уже опубликованных данных.

### Заключение

В заключение отметим, что наличие данных систем существенно ускоряет работу каждого перечисленного органа. Помимо этого, большая часть информационных систем обладает взаимной интеграцией между собой, что также упрощает процесс кооперации данных государственных органов между собой. Таким образом, благодаря взаимной интеграции между различными информационными системами обеспечивается непрерывный контакт между государственными органами, упрощается контроль, а также гораздо более просто проводится анализ.

Наше государство обладает весьма неплохой базой для обеспечения государственных органов и рядовых пользователей необходимой информацией. Стоит отметить, в данной работе рассмотрены лишь некоторые представители большого комплекса информационного обеспечения, т. к. фактически информационных систем в разы больше. Данный факт означает, что при необходимости получения определенного рода информации, содержащейся в нескольких информационных системах, пользователь потратит большее количество времени, чем, если бы вся информация находилась в одном крупном ресурсе. Рядовому пользователю будет совсем не просто во всем разобраться из-за некоторой разрозненности информационных систем, несмотря на их взаимную интеграцию.

### Список источников

- «Концепция информатизации деятельности Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии на период до 2018 года» // СПС КонсультантПлюс. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_220554/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220554/) (дата обращения 14 декабря 2021).
- Винер Н. 1983. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине; или Кибернетика и общество/ 2-е издание. — М.: Наука; Главная редакция изданий для зарубежных стран, 344 с.
- Госрасходы. URL:<https://spending.gov.ru/analytics/ratings/it/> (дата обращения 9 апреля 2022).



- Информатика: учебник / Под ред. проф. Н.В. Макаровой. М.: Финансы и статистика, 1997. 768 с.
- Открытость государства в России – 2021. URL:<https://ach.gov.ru/upload/pdf/Otkrytost-2021.pdf> (дата обращения 9 апреля 2022).
- Постановление Правительства РФ от 26 мая 2010 г. № 367 «О единой межведомственной информационно-статистической системе» // СПС КонсультантПлюс. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_100843/92d969e26a432\\_6c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_100843/92d969e26a432_6c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/) (дата обращения 12 декабря 2021).
- Указ президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203. // СПС КонсультантПлюс. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_216363/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_216363/) (дата обращения 12 декабря 2021).
- Федеральный закон «О государственной информационной системе топливно-энергетического комплекса» от 03.12.2011 № 382-ФЗ» // СПС КонсультантПлюс. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_122558/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_122558/) (дата обращения 27 октября 2021).
- Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27.07.2006 № 149-ФЗ» // СПС КонсультантПлюс. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_61798/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/) (дата обращения: 24 октября 2020).

### Список литературы

- Ажмухамедов И.М. 2011. Принципы обеспечения комплексной безопасности информационных систем. Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика, 1: 7–11.
- Валова Ю.И. 2021. Цифровизация современного общества. Тренды развития современного общества: управленческие, правовые, экономические и социальные аспекты. Сборник научных статей 11-й Всероссийской научно-практической конференции. Курск, 34–39.
- Васильева И.А. 2019. Особенности документирования экономических преступлений в бюджетной сфере. Предпринимательство в России: проблемы и перспективы развития: сборник научных трудов преподавателей и студентов кафедры экономики и предпринимательства МГОУ. Москва: Московский государственный областной университет, 74–77
- Закалкин П.В., Сагдеев А. К., Стародубцев Ю. И., Сухорукова Е. В. 2016. Проблема формирования системы динамической защиты государственных информационных систем. Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 239–243.
- Калошина, Т.Ю. 2020. К вопросу о сущности информационных технологий в управлении персоналом. Теория и практика современной аграрной науки: Сборник III национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. Изд-во: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 830–834.
- Старикова А.А. 2017. Оценка эффективности управления системой защиты информации в государственных информационных системах. Интерэкспо Гео-Сибирь, 8: 188–192.
- Шеннон К.Э. 1963. Математическая теория связи. Работы по теории информации и кибернетике. М.: ИИЛ, 832 с.
- Osipov V.S., Tutaeva D.R., Diakonova O.S., Krupnov Y.A., Khrunova A.L. 2021. Digital society as the basic institution of the digital economy of the 21st century. Lecture Notes in Networks and Systems, 198: 1133–1141.

### References

- Azhmuhamedov I.M. 2011. Principy obespecheniya kompleksnoj bezopasnosti informacionnyh sistem [Principles for ensuring the integrated security of information systems]. Vestnik AGTU. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika, 1: 7–11.
- Valova Yu.I. 2021. Cifrovizaciya sovremennogo obshchestva [Digitalization of modern society]. Trendy razvitiya sovremennogo obshchestva: upravlencheskie, pravovye, ekonomicheskie i social'nye aspekty. Sbornik nauchnyh statej 11-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Kursk, 34–39.
- Vasil'eva, I.A. 2019. Osobennosti dokumentirovaniya ekonomicheskikh prestuplenij v byudzhetnoj sfere [Features of documenting economic crimes in the public sector]. Predprinimatel'stvo v Rossii: problemy i perspektivy razvitiya: sbornik nauchnyh trudov prepodavatelej i studentov kafedry ekonomiki i predprinimatel'stva MGOU. Moscow: MSRU, 74–77.
- Kaloshina, T.Y. 2020. K voprosu o sushchnosti informacionnyh tekhnologij v upravlenii personalom [To the question of the essence of information technology in personnel management]. Teoriya i praktika

- sovremennoj agrarnoj nauki: Sbornik III nacional'noj (vserossijskoj) nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Publishing house: IC NGAU «Zolotoj kolos», 830–834.
- Zakalkin P. V., Sagdeev A. K., Starodubcev Yu. I., Suhorukova E. V. 2016. Problema formirovaniya sistemy dinamicheskoy zashchity gosudarstvennyh informacionnyh system [The problem of forming a system of dynamic protection of state information systems]. Aktual'nye problemy infotelekkommunikacij v nauke i obrazovanii: Sbornik nauchnyh statej: in 3 volumes. Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij im. prof. M.A. Bonch-Bruевича, 239–243.
- Shannon K.E. 1963. Matematicheskaya teoriya svyazi [Mathematical communication theory]. Raboty po teorii informacii i kibernetike. M.: IIL, 832 p.
- Starikova, A.A. 2017. Ocenka effektivnosti upravleniya sistemoy zashchity informacii v gosudarstvennyh informacionnyh sistemah [Evaluation of the effectiveness of managing the information security system in state information systems]. Interesko Geo-Sibir', 8: 188–192.
- Osipov V.S., Tutaeva D.R., Diakonova O.S., Krupnov Y.A., Khrunova A.L. 2021. Digital society as the basic institution of the digital economy of the 21st century. Lecture Notes in Networks and Systems, 198: 1133–1141.

**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

**Валова Юлия Игоревна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры государственного и муниципального управления, Московский государственный областной университет, г. Москва, Россия

**Жмуркин Иван Максимович**, магистрант 2 курса кафедры государственного и муниципального управления, Московский государственный областной университет, г. Москва, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Julia I. Valova**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of State and Municipal Administration, Moscow State Regional University, Moscow, Russia

**Ivan M. Zhmurkin**, 2nd year master's student of the Department of State and Municipal Administration, Moscow State Regional University", Moscow, Russia



УДК 33.06  
DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-256-267

## Перспективы использования смарт-контрактов в развитии бизнес-экосистем

Глазков А.А., Абрамов В.И.

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,  
Россия, 115409, Москва, Каширское шоссе, 31  
E-mail: glazkov-arthur@ya.ru, viabramov@mephi.ru

**Аннотация.** Рассматривается технология смарт-контрактов, которая сильно меняет традиционные бизнес-процессы, поскольку смарт-контракты позволяют автоматически выполнять договорные условия соглашения без вмешательства доверенной третьей стороны. В результате применения данной технологии можно сократить расходы на администрирование и услуги, повысить эффективность бизнес-процессов и снизить риски. Хотя технология смарт-контрактов позволяет стимулировать волну инноваций в бизнес-процессах компании, бизнес может столкнуться со сложностью применения смарт-контрактов на практике. В статье представлен обзор смарт-контрактов и возможные варианты их применения в бизнес-экосистемах. Предложены варианты применения смарт-контрактов в бизнесе. Появление цифрового рубля в 2022 г. безусловно делает развитие технологии смарт-контрактов актуальной и потенциально очень перспективной.

**Ключевые слова:** смарт-контракты, бизнес-экосистема, цифровизация, блокчейн, цифровой рубль, криптовалюта, цифровая трансформация

**Для цитирования:** Глазков А.А., Абрамов В.И. 2022. Перспективы использования смарт-контрактов в развитии бизнес-экосистем. Экономика. Информатика, 49(2): 256–267. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-256-267

---

## Prospects for the Use of Smart Contracts in the Development of Business Ecosystems

Arthur A. Glazkov, Victor I. Abramov

National Research Nuclear University "MEPhI",  
31 Kashirskoe highway, Moscow, 115409, Russia  
E-mail: glazkov-arthur@ya.ru, viabramov@mephi.ru

**Abstract.** We consider the technology of smart contracts, which greatly changes traditional business processes, since smart contracts allow you to automatically fulfill the contractual terms of the agreement without the intervention of a trusted third party. As a result of the application of this technology, you can reduce the cost of administration and services, increase the efficiency of business processes and reduce risks. While smart contract technology can drive a wave of innovation in a company's business processes, businesses may find it difficult to put smart contracts into practice. This article provides an overview of smart contracts and possible applications for them in business ecosystems. Options for using smart contracts in business are proposed. The appearance of the digital ruble in 2022 certainly makes the development of smart contracts technology relevant and potentially very promising.

**Keywords:** smart contracts, business ecosystem, digitalization, blockchain, digital ruble, cryptocurrency

**For citation:** Glazkov A.A., Abramov V.I. 2022. Prospects for the Use of Smart Contracts in the Development of Business Ecosystems. Economics. Information technologies, 49(2): 256–267 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-256-267

---

## Введение

Пандемия внесла значительный вклад в нестабильность мировой экономики. Вместо уже используемого термина VUCA-мир (акроним от слов волатильный, неопределенный, сложный и неоднозначный) постковидное состояние человечества вместе с окружающим его миром в его последующем развитии предлагается называть BANI-миром (акронимом от слов хрупкий, тревожный, нелинейный и непонятный) [Grabmeier, 2020]. В этих условиях требуются новые подходы к управлению компаниями, основанными на активном использовании новых бизнес-моделей и цифровых технологий. Важным условием и фактором успешного проведения цифровой трансформации является повышение цифровой зрелости, которое выражается в степени готовности предприятия к запланированным переменам. Отмечается, что для российских компаний актуально повышение уровня цифровой зрелости [Абрамов, Борзов, 2021] и, соответственно, для того, чтобы справляться с новыми вызовами в условиях цифровой экономики, требуются новые знания, навыки и использование возможностей новых цифровых технологий [Абрамов и др., 2021].

Цифровизация коренным образом меняет жизнь человека во всех сферах. Она является драйвером прогресса, который развивается все более стремительно [Любименко, 2021]. Развитие цифровых технологий кардинальным образом изменяет существующие инструменты финансовых рынков большинства стран мира. Многие операции, для которых ранее требовалось личное присутствие человека, теперь доступны онлайн и выполняются в течение нескольких минут. С развитием технологии блокчейн одним из набирающих популярность инструментов становится смарт-контракт. В настоящее время данная технология еще не обрела широкого распространения, однако внедрение смарт-контрактов в бизнес-модели крупных компаний и бизнес-экосистем будет способствовать снижению издержек за счет автоматизации многих процессов. Необходимо заметить, что юридический статус технологии блокчейн, на основе которой создаются смарт-контракты, пока не получил полноценного правового оформления, что создает риски при использовании данной технологии в бизнесе. Внедрение цифрового рубля может способствовать прояснению статуса, а также выступить платформой для формирования смарт-контрактов. Цифровой рубль необходим для обеспечения роста экономики и устойчивого развития страны, существуют возможности повышения эффективности управления при использовании цифрового рубля в контексте цифровой трансформации государства и бизнеса [Абрамов, Семенков, 2021].

Особенностью цифровой трансформации экономики является активное развитие цифровых платформ и экосистем, у которых присутствует существенный сетевой эффект: чем больше продавцов на платформе, тем больше покупатель ценит эту платформу, поскольку возможности выбора продуктов и услуг увеличиваются. Существующие особенности сетевого взаимодействия описаны в работе [Абрамов и др., 2014]. Также там приводятся основные направления развития принципов управления, их новые аспекты, отмечается значительное расширение диапазона связей и технологизация управления.

С целью повышения эффективности экосистем важным является вопрос исследования возможностей использования смарт-контрактов, как одного из действенных инструментов. Актуальность использования смарт-контрактов обусловлена введением в январе 2022 г. цифрового рубля.

## Объект и методы исследования

Объектом исследования являются возможности и особенности использования технологии смарт-контрактов в бизнес-экосистемах. Выявляются преимущества и недостатки использования новой технологии. Также рассматриваются риски применения смарт-контрактов в бизнесе, одним из которых является отсутствие правового статуса в законодательстве Российской Федерации. Рассматривается текущее законодательство в вопросе определения правового статуса технологии смарт-контрактов. Обсуждаются вопросы по уточнению статуса



технологии блокчейн и, в частности, смарт-контрактов. Рассматриваются варианты применения технологии смарт-контрактов на основе различных блокчейн-платформ. Далее в работе определены основные преимущества и недостатки каждой платформы при использовании их в бизнесе. Представлены авторские предложения по вариантам использования технологии смарт-контрактов в бизнес-экосистемах.

Метод данного исследования базируется на анализе и обобщении теоретического материала, изучении данных на базе ранее выполненных исследований по использованию технологии блокчейн и смарт-контрактов, а также на систематизации и группировке полученных данных, также применены методы анализа, синтеза, обобщения информации из открытых источников, выделение отдельных сторон проблематики исследования и структурирование.

### **Технология смарт-контрактов**

Под смарт-контрактом понимается договор между двумя и более сторонами об установлении, изменении или прекращении юридических прав и обязанностей, в котором часть или все условия записываются, исполняются и/или обеспечиваются компьютерным алгоритмом автоматически в специализированной программной среде [Луценко, 2021]. Формирование смарт-контрактов происходит благодаря технологии блокчейн. Утвержденные договорные положения преобразуются в компьютерные программы, в которых фиксируется каждая транзакция сторон договора. Смарт-контракты гарантируют надлежащий контроль доступа и соблюдения контрактов. Разработчики смарт-контрактов могут прописать доступ для каждой функции в контракте – как только какое-либо условие будет выполнено, оператор автоматически выполнит функцию предсказуемым образом. Поскольку заключение контрактов является одним из ключевых видов деятельности внутри компаний, то это является возможностью значительно повысить эффективность совершения сделок, как на внешнем рынке, так и внутри организации [Josefy et al., 2015]. Отмечается значимость смарт-контрактов, в том числе и в практике корпоративного управления [Seidel, 2018]. Надежный и безопасный характер технологии блокчейн позволяет смарт-контрактам повысить доверие к сделкам между двумя неизвестными друг другу сторонами без участия третьей стороны [Allam, 2018].

Жизненный цикл смарт-контракта состоит из следующих этапов [Zheng Z. et al., 2020]:

1. Создание смарт-контрактов. Вначале несколько вовлеченных сторон обсуждают обязательства, права и ограничения по контрактам. После переговоров происходит переход к созданию соглашения. Консультанты помогают сторонам составить первоначальное договорное соглашение. Затем разработчики конвертируют это соглашение в смарт-контракт, написанный на компьютерных языках.

2. Запуск смарт-контрактов. Проверенные смарт-контракты развёртываются на платформах на базе блокчейна. Контракты, хранящиеся в блокчейн, не могут быть изменены. Любая поправка требует создания нового контракта. После того, как смарт-контракты запущены в блокчейн, все стороны могут получить доступ к контрактам. Криптовалюты (цифровые активы) обеих сторон смарт-контракта блокируются посредством замораживания соответствующих цифровых кошельков. К примеру, переводы монет (входящие или исходящие) на кошельки, относящиеся к контракту, блокируются. Идентификация пользователей происходит по уникальным данным цифрового кошелька.

3. Выполнение смарт-контрактов. После запуска смарт-контрактов должны быть выполнены договорные условия. Как только договорные условия достигнуты, (к примеру, прием продукции), договорные процедуры будут выполняться автоматически. Когда условие выполнено, фиксируется соответствующая транзакция путем проверки в блокчейне. После проверки зафиксированные транзакции и обновленные состояния контракта снова сохраняются в блокчейнах.

4. Завершение смарт-контрактов. После исполнения смарт-контракта обновляются новые состояния всех вовлеченных сторон. Транзакции во время выполнения смарт-

контрактов, а также обновленные состояния хранятся в блокчейне. Тем временем цифровые активы передаются от одной стороны к другой (например, денежный перевод от покупателя поставщику). Происходит разблокировка цифровых активов, смарт-контракт завершает свой жизненный цикл.

Таким образом, с точки зрения потребителей услуг следует выделить ключевые ценности смарт-контрактов:

1) Прозрачность. Участники соглашения получают возможность отслеживать стадии исполнения контракта, чтобы удостовериться в исполнении партнером условий сделки.

2) Самоисполняемость контракта. Снижается зависимость от воли различных сторон. Цифровые активы участников сделки блокируются в момент выполнения контрактов, что снижает риск мошенничества недобросовестных партнеров.

3) Защищенность. Доступ к условиям смарт-контракта не распространяется на 3-х лиц.

4) Конфиденциальность. Каждая из сторон может оставаться анонимной, даже несмотря на то, что контракты будут храниться в распределительном реестре.

5) Высокая скорость работы. Это особенно важно при совершении финансовых операций.

В мировой практике смарт-контракты чаще всего используются в финансовом секторе, в государственном секторе, при первичном размещении токенов (ICO), а также в некоторых других сферах, например, в лотереях. Следует отметить, что токены – это перспективные инновационно-инвестиционные инструменты, как для привлечения внешнего финансирования, так и для повышения эффективности управления стартапами и инновационной деятельностью бизнеса [Райзберг, Абрамов, 2021].

### Платформы для разработки смарт-контрактов

В последнее время смарт-контракты разрабатываются на платформах, основанных на технологии блокчейн. Эти платформы предоставляют разработчикам простые интерфейсы для создания приложений, связанных со смарт-контрактами. Ряд действующих блокчейн-платформ уже поддерживают смарт-контракты. Рассмотрим наиболее распространенные платформы для создания смарт-контрактов.

**Ethereum** – это децентрализованная платформа, которая может выполнять смарт-контракты. В Ethereum есть возможность создавать смарт-контракты для генерации токенов. Самым распространенным стал токен стандарта ERC-20 (официальный протокол для внесения предложений по улучшению сети Ethereum) [Официальный сайт ForkLog]. Такая стандартизация позволяет упростить взаимодействие между кошельками, проектами, биржами и другими средами.

Подобно биткоину, Ethereum использует технологию PoW в качестве алгоритма консенсуса, который также требует больших вычислительных затрат. Криптовалюты используют консенсус PoW для подтверждения транзакций и создания новых блоков, а также для добавления их в блокчейн. С помощью PoW майнеры соревнуются за быстрое и точное выполнение транзакций в сети, за что получают вознаграждение [Официальной сайт ForkLog]. Чтобы компенсировать затраты на решение головоломок, выполняемых майнерами, используется эфир (ETH).

Преимущества:

- благодаря гибкой системе создания контрактов возможно создание максимально сложных смарт-контрактов.

- за счет популярности платформы среди пользователей обеспечивается достаточная вычислительная мощность.

- масштабируемость платформы, что позволяет обрабатывать большее количество транзакций.



Недостатки:

- для осуществления переводов требуется оплата в виде ETH, что дороже относительно других валют по причине высокой рыночной стоимости Ethereum;
- используется токен стандарта ERC-20, подверженный ошибке [Официальный сайт ForkLog].

**Hyperledger Fabric** — это проект, основанный Linux Foundation в 2015 г. для разработки и внедрения блокчейн-сетей для корпоративных нужд. По этой причине предлагаемые решения данной платформы отличаются гибкостью, необходимой для работы с бизнесами, чего не предлагают другие платформы.

В Hyperledger Fabric используется язык программирования Go, и все смарт-контракты платформы поддерживают данный язык. Одним из главных преимуществ данного языка является его высокая скорость сборки программы в эквивалентные программные модули [Официальной сайт DeCenter].

Преимущества:

- ориентированность на корпорации;
- наличие частных каналов повышает надежность и пропускную способность системы;
- используется язык программирования Go;
- имеется возможность создания чейн-кодов на Java и JavaScript.

Недостатки:

- небольшое сообщество пользователей, что связано с ориентацией на корпоративные нужды;
- требуются существенные затраты для использования платформы.

**Stellar** – платформа для совершения валютных операций, работающая в режиме реального времени. Работает с использованием смарт-контрактов и мультиподписей. Через платформу можно совершать перевод денежных средств по всему миру. При этом возможен перевод в одной валюте, а зачисление произойдет в эквивалентной сумме в любой другой валюте.

Stellar предлагает более быструю систему подтверждения транзакций. Скорость процесса занимает около 5 секунд, в отличие от Ethereum, где подтверждение занимает более 3 минут. Кроме того, проект выделяется невероятно низкой стоимостью транзакции. К примеру, за 100 тысяч транзакций пользователь платит всего 1 цент.

Преимущества:

- высокая скорость подтверждения транзакций;
- возможность создания смарт-контрактов на любом языке программирования;
- относительно низкая стоимость транзакций.

Недостатки:

- ограниченность функционала.

### Преимущества и недостатки смарт-контрактов

Смарт-контракты обладают значительными преимуществами по сравнению с традиционными бумажными формами заключения договоров. При этом в смарт-контрактах могут встречаться как уязвимости, связанные с неправильной работой ИТ-системы, так и уязвимости, связанные с человеческим фактором. По этой причине всегда существует вероятность появления ситуаций, которые не были зафиксированы в контракте. В таблице 1 рассмотрены основные преимущества и недостатки применения смарт-контрактов.

Таблица 1  
Table 1

Преимущества и недостатки смарт-контрактов  
(составлено на основе данных [Официальный сайт ЦБ РФ])  
Advantages and disadvantages of smart contracts  
(compiled on the basis of data [Official website of the Central Bank of the Russian Federation])

Преимущества	Недостатки
Отказ от доверенных посредников. Исключение посредников из цепочки взаимодействия позволяет участникам смарт-контракта снизить временные и денежные затраты.	Отсутствие функциональной гибкости. При заключении соглашения с помощью смарт-контрактов изменение условий договора становится трудоемким процессом, поскольку требуется изменение программного кода, что увеличивает издержки. Без изменения смарт-контракта на уровне программного кода любые договоренности участников будут недействительны.
Благодаря автоматизации процессов исполнение условий смарт-контракта происходит значительно быстрее по сравнению со стандартным механизмом выполнения договора. Необходимая документация «закодирована» внутри смарт-контракта, что позволяет моментально выполнять проверку и производить расчеты.	В мировой законодательной практике нет официально закрепленного статуса смарт-контракта. Данное обстоятельство может затруднить решение спорных вопросов, возникающих при нарушении условий его исполнения.
Высокий уровень безопасности сделки для каждого участника. Надежность системы гарантируется децентрализованным хранением записей в блокчейн. То есть информация одновременно хранится на множестве компьютеров и не зависит от одного участника. Таким образом, каждый участник способен провести проверку кода на правильность, чтобы убедиться в безопасности использования для совершения сделки.	Смарт-контракты состоят из компьютерного кода, написанного людьми. Поэтому всегда присутствует риск допустить ошибку на стадии программирования, что может привести к неверному исполнению условий контракта или возникновению условий для совершения мошеннических действий.
Применение технологии смарт-контракта дает импульс к появлению новых бизнес-моделей, новых способов расчетов между контрагентами, что оказывает влияние на развитие новых сервисов в различных сферах деятельности.	На текущий момент процесс создания смарт-контракта является трудоемким, так как чем больше условий и параметров, которые должны быть учтены в контракте, тем более затруднительно их описать и учесть на момент заключения договора.

### Применение смарт-контрактов в экосистемах

В современной экономике экосистемы и цифровые платформы являются основой для трансформации целых отраслей и различных видов социально-экономической деятельности, становятся драйверами роста, инноваций и конкуренции, так как снижают барьеры входа как для компаний, так и для физических лиц. Экосистемы аккумулируют вокруг себя людей, активы и данные, что создает новые методы и способы производства, продвижения и потребления продуктов. Внедрение смарт-контрактов в экосистемах позволяет существенно ускорять бизнес-процессы.

Смарт-контракты имеют широкий спектр применения, и поэтому экосистемы могут использовать данный инструмент достаточно универсально. Рассмотрим возможные варианты применения смарт-контрактов в экосистеме.

**Банковский бизнес.** Смарт-контракты имеют возможность потенциально снизить финансовые риски, сократить административные расходы и повысить эффективность финан-



совых услуг. Учитывая то, что в большинстве экосистем центральной организацией выступает банк (примерами таких экосистем на российском рынке является Сбербанк, Тинькофф Банк, МТС), то применение смарт-контрактов дает возможность в значительной степени сократить период расчетов по банковским переводам. Кроме того, исполнение контрактов может осуществляться в любое, даже нерабочее время, что приводит к росту спроса на 5–6 % в будущем, а также к дополнительному доходу [Cant V et al., 2021].

**Ипотечное кредитование.** Применение смарт-контрактов несомненно принесет пользу в индустрии недвижимости. Конечно, заключение с помощью смарт-контрактов сделки по покупке квартиры может быть непривычным и рискованным для физических лиц, однако цифровизация банковских процессов перенесла в онлайн многие операции, которые еще недавно казались невозможными без физического присутствия договаривающихся сторон в отделении банка (открытие карты, оплата платежей за кредит, получение договоров и т. д.) Одним из главных лидеров онлайн-банкинга является Тинькофф Банк, который заявил о своем возвращении на ипотечный рынок [РБК]. Очевидно, что внедрение технологии смарт-контрактов в данные бизнес-процессы позволит существенно снизить издержки по сравнению с традиционными подходами.

Обычные ипотечные кредиты, как правило, сложны в процессах предоставления, финансирования и обслуживания, что приводит к дополнительным затратам и задержкам. Смарт-контракты потенциально могут снизить затраты и задержки за счет автоматизации процессов ипотеки с оцифровкой юридических документов в технологии блокчейн [Guo Y et al., 2016].

**Страхование.** Применение смарт-контрактов в страховой отрасли также может снизить накладные расходы на обработку и сэкономить другие затраты, особенно при обработке претензий. В качестве примера можно рассмотреть работу страховой компании AXA Group, которая запустила свою страховку на случай задержки рейса на основе смарт-контрактов Ethereum. Пассажиры, приобретающие страховку на рейс, автоматически подписывают смарт-контракт, который подключается к глобальной базе данных воздушного движения. Если система замечает задержку рейса более чем на два часа, она запускает функцию в смарт-контракте, тем самым пассажирам будут немедленно оплачены дополнительные расходы [Tapscott A et al., 2016].

**Интеллектуальная собственность.** Бизнес-экосистемы могут быть сформированы из цифровых платформ – это бизнес-модель, позволяющая потребителям и поставщикам связываться онлайн для обмена продуктами, услугами и информацией. Примерами цифровых платформ является YouTube, AirBnB, Avito, Alibaba, Amazon. На таких платформах пользователи способны продавать интеллектуальную собственность, и смарт-контракт может быть использован для защиты интеллектуальной собственности творческих цифровых носителей.

К примеру, каждый цифровой продукт может быть снабжен уникальным цифровым водяным знаком (таким как адрес цифрового кошелька покупателя и идентификатор продукта). Если есть какое-либо нарушение (например, покупатель продает цифровой продукт другим лицам без разрешения создателя), сотрудник цифровой платформы может отследить незаконный файл с оригинальным файлом, извлекая цифровой водяной знак и сравнивая адрес цифрового кошелька с адресом покупателя. В результате нарушение права собственности может быть легко идентифицировано. Вся процедура может быть достигнута с помощью смарт-контрактов и блокчейнов.

### **Примеры использования смарт-контрактов в бизнесе**

Уже сейчас ряд организаций внедряет технологию смарт-контрактов в собственные бизнес-процессы. Известным примером использования данной технологии в банковской сфере является один из крупнейших банков Англии Barclays. Технология смарт-контракта была использована банком для проведения сделок с аккредитивами для международной поставки товаров.

Документами, подтверждающими исполнение условий аккредитива, которые вошли в контракт, являются сертификат происхождения товара, страховой сертификат, а также счет [Банк России].

Другим примером использования данной технологии является предоставление кредита кредитной организацией Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA) своему корпоративному клиенту суммы в размере 75 млн евро. Сделка была зарегистрирована с использованием технологии смарт-контрактов в сети Ethereum [Guo, Liang, 2016]. Операция заняла по времени несколько часов, тогда как при обычном переводе обработка заняла бы несколько дней.

Первая сделка-аккредитив через блокчейн с использованием смарт-контрактов в России была проведена Альфа-Банком совместно с S7 Airlines.

Основные этапы сделки, открытие и исполнение аккредитива, были оформлены в виде транзакции на основании смарт-контрактов в системе Ethereum, а данные фиксировались в блокчейне. Запись в блокчейне содержала хеш (результат криптографического преобразования) следующих данных: ИНН заказчика и исполнителя, вид работ, сумма аккредитива, дата открытия и закрытия сделки [Официальный сайт Альфа-банк]. С помощью данной информации любая сторона сделки имеет возможность самостоятельно проверить статус аккредитива.

Применение технологии смарт-контрактов возможно не только в финансовом, но также и в страховом секторе. Стартап Dynamis работает в сфере P2P-страхования – предоставляет страховые полисы для защиты от рисков при потере работы. При этом отличие Dynamis от традиционного страхового фонда в том, что Dynamis формируется не в руках страховщика-владельца, а распределен по децентрализованной сети кредиторов, и смарт-контракты применяются для вынесения решения по заявке, а также для последующих автоматических списаний задолженности [Официальный сайт Dynamis].

Таким образом, используя блокчейн, Dynamis гарантирует, что пособия по безработице на самом деле принадлежат сотрудникам, а не работодателям, которые могут изменять условия выплат в выгодных для себя случаях.

Использование смарт-контрактов возможно в области медицины. Примером такого использования является Фонд Dentacoïn, основанный в Нидерландах в 2017 году [Официальный сайт Dentacoïn]. На базе платформы Ethereum фонд выпустил собственную криптовалюту – Dentacoïn (DCN).

Фонд Dentacoïn представляет собой информационную сеть для взаимодействия между стоматологическими клиниками-партнёрами (более 150 организаций) и пациентов. В рамках информационной сети для клиник предоставляются маркетинговые исследования, а также отчеты о современных тенденциях в стоматологии. Действующие и новые пациенты могут просматривать и оставлять отзывы по работе специалистов.

За полезные отзывы на основе технологии смарт-контрактов пациенты получают выплаты в валюте Dentacoïn. В дальнейшем пациенты смогут оплачивать этой валютой стоматологическое обследование, а также покупать продукцию-партнеров.

Также фонд предоставляет медицинское страхование в рамках стоматологических услуг. Условия страхования прописываются в смарт-контракте, а оплата осуществляется в криптовалюте – DCN. Для обоих участников (врач и пациент) взаимодействие в рамках смарт-контракта создает выгодные условия. Врач получает доход за профилактику и хорошее обслуживание, а пациент профилактические услуги на всю жизнь.

Таким образом, смарт-контракт позволяет избежать привлечения третьих лиц для регулирования договорных отношений, а также подобрать подходящие условия оплаты.

### **Регулирование смарт-контрактов в России**

В законодательных актах России по-прежнему отсутствует термин, определяющий понятие смарт-контракта. Согласно Гражданскому кодексу Российской Федерации, договор считается заключенным, если стороны достигли соглашения по всем существенным условиям договора, которые можно согласовать с применением смарт-контракта.



Для успешного развития смарт-контрактов требуется закрепить правовой статус смарт-контракта, участников сделки, порядок организации защиты интересов каждого участника, а также выработать единый подход к применению соответствующих норм. И подобный прогресс уже наблюдается. Государственная Дума приняла законопроекты «О внесении изменений в части первую, вторую и четвертую Гражданского кодекса Российской Федерации» и «О привлечении инвестиций с использованием инвестиционных платформ и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», которые вступают в законную силу 1 октября текущего года (п. 1 ст. 160 Гражданского кодекса Российской Федерации установлен правовой статус смарт-контракта – это «сделка с помощью электронных либо иных технических средств», относящаяся к сделке в письменной форме). Данные положения должны стать основой в принятии закона о цифровых финансовых активах (криптовалюте и токенах) [Трунцевский, 2020]. Необходимо отметить, что в настоящее время отсутствует закрепленное на законодательном уровне понятие «смарт-контракта» и его правовой статус применительно к различным областям экономической деятельности и государственного управления.

### **Влияние цифрового рубля на развитие смарт-контрактов**

В 2022 г. начинается тестирование проекта по созданию цифрового рубля, что безусловно окажет влияние на развитие технологии смарт-контрактов. Ожидается, что через три года после внедрения цифрового рубля на расчеты с его помощью придется 30 % операций. Согласно определению из доклада Центробанка, цифровой рубль будет дополнительной формой российской национальной валюты и будет эмитироваться центральным банком в цифровой форме. Таким образом, цифровой рубль будет являться цифровой валютой российского центрального банка. Если наличные деньги выпускаются в виде банкнот, каждая из которых имеет уникальный номер, безналичные деньги существуют в виде записей на счетах в коммерческих банках, то цифровой рубль будет иметь форму уникального цифрового кода, который будет храниться на специальном электронном кошельке [Официальный сайт ЦБ РФ].

При появлении инфраструктуры, необходимой для использования цифрового рубля, появляется возможность использовать новые финансовые инструменты, в частности смарт-контракты. Спрос на использование технологии смарт-контрактов на платформе, созданной государством, будет как со стороны физических, так и юридических лиц. На это есть ряд причин:

- в смарт-контрактах будут использоваться токены, эмитированные ЦБ, что приравнивается к наличным/безналичным деньгам;
- с помощью смарт-контрактов организации смогут автоматизировать контроль и проведение расчетов по заключенным договорам и сделкам на финансовых рынках;
- автоматизация и повышение эффективности платежей в сфере государственных закупок при оформлении сделок с помощью смарт-контрактов;
- использование цифрового рубля в смарт-контрактах может оказать позитивное влияние на развитие таких инструментов, как аккредитивы, эскроу, залоговые счета.

Таким образом, цифровой рубль значительно повышает актуальность использования смарт-контрактов, делая данную технологию безопасной как в техническом, так и в юридическом аспекте.

### **Заключение**

При рассмотрении особенностей смарт-контрактов и их жизненного цикла становится ясно, что основную сложность представляет собой разработка и развёртывание смарт-контрактов на платформе блокчейн, поскольку данная технология еще не приобрела массового внедрения, хотя отмеченные преимущества станут несомненными драйверами на пути к популярности. В то же время существуют перспективные направления применения смарт-контрактов в экосистемах и основные из них представлены в данной статье. Использование

смарт-контрактов в региональных экосистемах может создать более удобную среду для взаимодействия между государством, предприятиями и гражданами.

Также важно отметить, что смарт-контракты имеют значительную область для применения во многих отраслях экономики. Мировой тренд на цифровую трансформацию экономики является важным фактором развития данного инструмента. Тестирование проекта по созданию цифрового рубля безусловно делает технологию смарт-контрактов актуальной и потенциально очень перспективной.

### Список источников

- Grabmeier S. BANI versus VUCA: a new acronym to describe the world / Blog. Grabmeier S. 2020. [Электронный ресурс] // URL: <https://stephangrabmeier.de/bani-vs-vuca> (дата обращения: 21.10.2021).
- Cant B., Khadikar A., Ruitter A., Bronebakk J.B., Coumaros J., Buvat J., Gupta A. 2016. Smart contracts in financial services: Getting from hype to reality Capgemini Consult., pp. 1–26 URL: [https://www.capgemini.com/consulting-de/wp-content/uploads/sites/32/2017/08/smart\\_contracts\\_paper\\_long\\_0.pdf](https://www.capgemini.com/consulting-de/wp-content/uploads/sites/32/2017/08/smart_contracts_paper_long_0.pdf)
- Аналитический обзор по теме «Смарт-контракты» URL: <https://cbr.ru/search/?text=смарт-контракты> (дата обращения 22.12.2021).
- Замесить тест: как и на ком весь год будут пилотировать цифровой рубль. URL: [https://iz.ru/1270887/natalia-ilina/zamesit-test-kak-i-na-kom-ves-god-budut-pilotirovat-tcifrovoi-rubl?utm\\_source=uxnews&utm\\_medium=desktop](https://iz.ru/1270887/natalia-ilina/zamesit-test-kak-i-na-kom-ves-god-budut-pilotirovat-tcifrovoi-rubl?utm_source=uxnews&utm_medium=desktop) (дата обращения 09.01. 2022).
- Сравнение платформ для смарт-контрактов. URL: <https://decenter.org/ru/sravnenie-platform-dlya-smart-kontraktov> (дата обращения 21.12.2021).
- Тинькофф Банк определился с форматом возвращения на ипотечный рынок. URL: <https://www.rbc.ru/finances/21/09/2021/6148a7ec9a7947a35891f996> (дата обращения 22.12.2021).
- Что такое токены ERC-20? URL: <https://forklog.com/chto-takoe-tokeny-erc-20/> (дата обращения 20.12.2021).

### Список литературы

- Абрамов В.И., Борзов А.В., Семенов К.Ю. 2021. Критерии оценки цифровой зрелости российских предприятий малого и среднего бизнеса. Социально-экономическое развитие России: проблемы, тенденции, перспективы: Сборник статей 20-й Международной научно-практической конференции в рамках III Московского академического экономического форума. Курск: ФУ при Правительстве Российской Федерации, 2021: 7–12.
- Абрамов В.И., Борзов А.В., Семенов К.Ю. 2021. Теоретико-методологический анализ моделей цифровой зрелости для российских компаний. Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством». 04(50): 42–51. DOI: 10.6060/ivecofin.2021504. 566
- Абрамов В.И., Семенов К.Ю. 2021. Цифровой рубль: возможности для государства и бизнеса. Цифровая экономика: перспективы развития и совершенствования: сборник научных статей 2-й Международной научно-практической конференции, Курск, 30 июня 2021 года. Юго-Западный государственный университет; Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева; Северо-Кавказский федеральный университет, Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) в г. Пятигорске; Бухарский инженерно-технологический институт. Курск, ЮЗГУ: 14–20.
- Абрамов В.И., Оводенко Д.В., Вагин С.Г., Титов А.К. 2014. Развитие принципов управления при сетевом взаимодействии. Вестник Самарского государственного экономического университета. 12(122): 88–91.
- Любименко Д.А., Вайсман Е.Д. 2021. Методический подход к оценке эффективности инжиниринговых проектов внедрения киберфизических систем в деятельность промышленных предприятий. Экономика. Информатика. 48(4): 663–678. DOI:10.52575/2687–0932-2021-48-4-663-678
- Луценко С.И. 2021. Роль смарт-контрактов в современных цифровых реалиях. Цифровая экономика. 2(14): 37–41. DOI 10.34706/DE-2021-02-05
- Трунцевский Ю.В., Севальнев В.В. 2020. Смарт-контракт: от определения к определенности. Право. Журнал Высшей школы экономики. 1: 118–147.



- Райзберг И.О., Абрамов В.И. 2021. Токены – инновационно-инвестиционные инструменты развития бизнеса. Экономический рост как основа устойчивого развития России: сборник научных статей участников 6-й Всероссийской научно-практической конференции. Курск: ЗАО «Университетская книга»: 347–351.
- Allam Z. 2018. On smart contracts and organizational performance: A review of smart contracts through the blockchain technology. *Review of Economic and Business Studies*, 11(2): 137–156.
- Josefy M., Kuban S., Ireland R.D., Hitt M.A. 2015. All things great and small: Organizational size, boundaries of the firm, and a changing environment. *The Academy of Management Annals*, 9: 715–802.
- Liang X., Shetty S, Tosh D, Kamhoua C, Kwiat K, Njilla L, 2017. ProvChain. A blockchain-based data provenance architecture in cloud environment with enhanced privacy and availability, 17th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing: 468–477. DOI: 10.1109/CCGRID.2017.8.
- Guo Y., Liang C. 2016. Blockchain application and outlook in the banking industry *Financ. Innov*, 2(1): 24–37.
- Seidel, M-D. L., 2018. Questioning centralized organizations in a time of distributed trust. *Journal of Management Inquiry*, 27: 40–44.
- Tapscott D., Tapscott A., 2016. *Blockchain Revolution: How the technology behind Bitcoin is changing money, business, and the world*, 1st Edition, Penguin.
- Zheng Z., Xie S., Dai H.-N., Chen W., Chen X., Weng J., Imran M., 2020. An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms, *Future Generation Computer Systems*: 1–19.

## References

- Abramov, V.I., Borzov A.V., Semenov K. Ju. 2021. Kriterii ocenki cifrovoj zrelosti rossijskih predpriyatij malogo i srednego biznesa [Criteria for assessing the digital maturity of Russian small and medium-sized businesses]. *Social'no-jekonomicheskoe razvitie Rossii: problemy, tendencii, perspektivy: Sbornik statej 20-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii v ramkah III Moskovskogo akademicheskogo jekonomicheskogo foruma*. Kursk: FU pri Pravitel'stve Rossijskoj Federacii, 2021: 7–12.
- Abramov V.I., Borzov A.V., Semenov K.Ju. 2021. Teoretiko-metodologicheskij analiz modelej cifrovoj zrelosti dlja rossijskih kompanij [Theoretical and methodological analysis of digital maturity models for Russian companies]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija «Jekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom»*. 04(50): 42–51. DOI: 10.6060/ivecofin.2021504.566
- Abramov V.I., Semenov K.Ju. 2021. Cifrovoj rubl': vozmozhnosti dlja gosudarstva i biznesa [Digital ruble: opportunities for the state and business]. *Cifrovaja jekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya : sbornik nauchnyh statej 2-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Kursk, 30 ijunja 2021 goda / Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet; Severo-Kazahstanskij gosudarstvennyj universitet im. M. Kozybaeva; Severo-Kavkazskij federal'nyj universitet, Institut servisa, turizma i dizajna (filial) v g. Pjatigorske; Buharskij inzhenerno-tehnologicheskij institut. Kursk, JuZGU: 14–20.
- Abramov V.I., Ovodenko D.V., Vagin S.G., Titov A.K. 2014. Razvitie principov upravlenija pri setevom vzaimodejstvii [Development of management principles in network interaction]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo jekonomicheskogo universiteta*. 12(122): 88–91.
- Lyubimenko D.A, Vaisman E.D. 2021. Methodological approach to assessing the effectiveness of engineering projects for the implementation of cyber-physical systems in the activities of industrial enterprises. *Economics. Information technologies*. 48(4): 663–678 (in Russian). DOI: 10.52575/2687-0932-2021-48-4-663-678.
- Lucenko S.I. 2021. Rol' smart-kontraktov v sovremennyh cifrovyyh realijah [The role of smart contracts in modern digital realities]. *Cifrovaja jekonomika*. 2(14): 37–41. DOI 10.34706/DE-2021-02-05.
- Truncevskij Ju.V., Seval'nev V.V. 2020. Smart-kontrakt: ot opredelenija k opredelennosti [Smart contract: from definition to certainty]. *Pravo. Zhurnal Vysšej shkoly jekonomiki*. 1: 118–147.
- Rajzberg I.O., Abramov V.I. 2021. Tokeny – innovacionno-investicionnye instrumenty razvitiya biznesa [Tokens are innovative and investment tools for business development]. *Jekonomicheskij rost kak osnova ustojchivogo razvitiya Rossii: sbornik nauchnyh statej uchastnikov 6-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Kursk: ЗАО "Universitetskaja kniga": 347–351.
- Allam Z. 2018. On smart contracts and organizational performance: A review of smart contracts through the blockchain technology. *Review of Economic and Business Studies*, 11(2): 137–156.



- Josefy M., Kuban S., Ireland R.D., Hitt M.A. 2015. All things great and small: Organizational size, boundaries of the firm, and a changing environment. *The Academy of Management Annals*, 9: 715–802.
- Liang X., Shetty S, Tosh D, Kamhoua C, Kwiat K, Njilla L, 2017. ProvChain. A blockchain-based data provenance architecture in cloud environment with enhanced privacy and availability, 17th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing: 468–477. DOI: 10.1109/CCGRID.2017.8.
- Guo Y., Liang C. 2016. Blockchain application and outlook in the banking industry *Financ. Innov.* 2(1): 24–37.
- Seidel M-D. L., 2018. Questioning centralized organizations in a time of distributed trust. *Journal of Management Inquiry*, 27: 40–44.
- Tapscott D., Tapscott A., 2016. *Blockchain Revolution: How the technology behind Bitcoin is changing money, business, and the world*, 1st Edition, Penguin.
- Zheng Z., Xie S., Dai H.-N., Chen W., Chen X., Weng J., Imran M., 2020. An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms, *Future Generation Computer Systems*: 1–19.

**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

**Абрамов Виктор Иванович**, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры управления бизнес-проектами, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

**Глазков Артур Александрович**, магистрант кафедры управления бизнес-проектами, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Victor I. Abramov**, Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department of Business Project Management, National Research Nuclear University MEPhI Moscow, Russia

**Arthur A. Glazkov**, Master Student of the Department of Business Project Management, National Research Nuclear University MEPhI Moscow, Russia



УДК 504.062

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-268-276

## The Empirical Research of Environmental Protection Significance in the Republic of Serbia

<sup>1, 2)</sup> Filip B. Cvetković, <sup>3)</sup> Aleksandar Z. Stanković, <sup>1, 2)</sup> Jasmina Gligorijević

<sup>1)</sup> University „Union Nikola Tesla“

62-64 Cara Dušana, Belgrade, 11158, Serbia

<sup>2)</sup> Faculty of Applied Sciences

22a Dusana Popovica, Nis, 18000, Serbia

<sup>3)</sup> University „Business Academy“, Faculty of Economics and Engineering Management

2 Cvečarska, Novi Sad, 21102, Serbia

E-mail: cvetkovicfilip0@gmail.com, jasminanesic75@gmail.com, aleksandar.st.srb@gmail.com

**Abstract.** Protection and promotion of quality of the environment concerns everyone, from the individual to the global level. This process must include all the countries in the world and all the entities within those countries. With a view to having businesses contributing to environmental protection, in recent years, there have been discussions on ecological management within companies. Numerous standards and management systems defined at local, regional, and international levels are adding to the growing impact of ecological management. The environment is one of the key issues within the European Union where the EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) system and the group of standards ISO 14000 relating to the environment and companies' relationship to it were defined. Unlike the EMAS system, which is binding to members of the EU, ISO standards are not, but most businesses in the EU implement them in their operations. Companies in RS, resulting from cooperation with EU companies, frequently choose to implement these standards, likewise, to facilitate cooperation with foreign businesses which frequently demand the implementation of these standards. To ascertain how much importance domestic companies place on environmental management and protection this research contains a survey through which the respondents indicate that they do not have much faith in the attitudes of domestic businesses towards the environment. For this reason, it is necessary to make advancements in this area in the future.

**Keywords:** environmental research, environmental protect, standards, Republic of Serbia

**For citation:** Cvetković F.B., Stanković A.Z., Gligorijević J. 2022. The Empirical Research of Environmental Protection Significance in the Republic of Serbia. Economics. Information technologies, 49(2): 268–276. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-268-276

## Эмпирическое исследование значения охраны окружающей среды в Республике Сербия

<sup>1, 2)</sup> Цветкович Ф., <sup>3)</sup> Станкович А., <sup>1, 2)</sup> Глигориевич Я.

<sup>1)</sup> Университет «Союз Никола Тесла»

Сербия, 11158, Белград, Цара Душана, 62-64

<sup>2)</sup> Факультет прикладных наук

Сербия, 18000, Ниш, Душана Поповица, 22а

<sup>3)</sup> Университет «Бизнес Академия», факультет экономики и инженерного менеджмента

Сербия, 21102, Нови-Сад, Цвечарска, 2

E-mail: cvetkovicfilip0@gmail.com, jasminanesic75@gmail.com, aleksandar.st.srb@gmail.com

**Аннотация.** Защита и поддержание качества окружающей среды касается каждого, от индивидуального до глобального уровня. Этот процесс должен охватывать все страны мира и все организации в этих странах. С целью привлечения предприятий к охране окружающей среды в последние годы в компаниях ведутся дискуссии об экологическом менеджменте. Многочисленные стандарты и системы управления, определенные на местном, региональном и международном уровнях, усиливают растущее влияние экологического менеджмента.

гического менеджмента. Окружающая среда является одним из ключевых вопросов в Европейском Союзе, где были определены система EMAS (Схема экологического менеджмента и аудита) и группа стандартов ISO 14000, касающихся охраны окружающей среды и отношения компаний к ней. В отличие от системы EMAS, которая является обязательной для членов ЕС, стандарты ISO не являются обязательными, но большинство компаний в ЕС применяют их в своей деятельности. Компании в Республике Сербия, в результате сотрудничества с компаниями из ЕС, часто принимают решение о внедрении этих стандартов, а также для облегчения сотрудничества с иностранными предприятиями, которые часто требуют внедрения этих стандартов. Чтобы выяснить, какое значение сербские компании придают рациональному природопользованию и охране окружающей среды, данное исследование содержит опрос, в ходе которого респонденты указывают, что они не очень верят в ответственное отношение сербских предприятий к окружающей среде. По этой причине необходимо добиться прогресса в этой области в будущем.

**Ключевые слова:** экологические исследования, защита окружающей среды, стандарты, Республика Сербия

**Для цитирования:** Cvetković F.B., Stanković A.Z., Gligorijević J. 2022. The Empirical Research of Environmental Protection Significance in the Republic of Serbia. *Economics. Information technologies*, 49 (2): 268–276. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-268-276

---

## Introduction

In the modern setting sustainable growth is an integral part of any country's development strategy. Sustainable growth does not solely pertain to economic development but also ecological, social, and cultural development of the society. For this reason, the topic of environmental protection has received much attention on macro and micro levels, i.e., on business level. The purpose of this research is to acquaint the reader with ecological management at micro level, which the research targets and whereby it will be determined how much importance domestic companies place on environmental protection.

At state level, aside from the implementation of command and control instruments some commercial instruments have been applied. The primary types of commercial environmental protection instruments are construction permits, ecological taxes, ecological fees, ecological subsidies and incentives and programs for responsibility and compensation [European Environmental Agency, 2005]. Out of the listed instruments pollution permits are prominent when USA soil is concerned, while special care is given to ecological taxes on EU soil. Namely, an ecological tax reform based on the principles of income neutrality has been conducted in EU. The increase of existing taxes and the introduction of new ones related to the environment have not led to a boost in public revenue but have rather been the foundation for a reduction of income taxes whereby EU members strive to solve their unemployment problems [Stojanović, 2016]. We have ecological taxes to a certain degree which does not reach the extent in the EU [Stojanović, Đorđević, 2016].

Aside from the legal regulations and commercial instruments defined by the state, corresponding standards are defined at international level and the standard related to environmental protection is ISO 14000. ISO standards are not mandatory for companies, but to establish best reputation, socially responsible behavior and smoother cooperation with international companies' domestic companies frequently choose to standardize, that is, accept and implement these standards in their operation and develop ecological management systems.

With a view to promoting their philanthropic behavior, international and domestic business entities alike quite often define or invest in projects related to environmental protection, which certainly significantly contributes to a qualitative betterment of the environment.

To determine the extent of conscientiousness with which domestic businesses approach the environment this research conducts an opinion poll on whether domestic companies treat the environment conscientiously. The results of this analysis will be useful for hypothesis testing and drawing important conclusions.



## Literature Overview

As has been stated earlier environmental protection is of utmost importance for the survival of humanity. For that reason, many authors internationally and within the Republic of Serbia work on environmental pollution problems from ecological and economic aspects. Researchers involved in economic aspects observe this problem at macro and micro levels, i.e., at business entity level, which is the focal point of our research.

This literature overview is split into three parts. With reference to representative literature the first part addresses theoretical viewpoints regarding environmental management by businesses. Then we do the same for EMAS and ISO 14000 standard. In the third part of the overview, we present empirical results from this area which we use as the basis for the creation of our research.

### Environmental Management at Company Level

Environmental management at company level is regular company activity the goal of which is to reduce operations' negative influence on the environment. The basic tasks of environmental management primarily encompass company level activity planning for environmental protection and thorough organization of these ecological activities. The company's environmental management system itself is based on managing the impact the company has on the quality of the environment and how it affects use of natural resources the volume of which is being reduced resulting from inadequate and excessive use.

Environmental management is conducted at local, regional, and international levels, which depends on the company's type of operation [Elizabeth Delaney, Barbara Thomson, 2013]. If a particular company's operation is related to electricity production, nuclear energy, gas lines, air transport, railway, or chemical facilities, in those cases, they are considered high-risk in terms of the environment. Such companies must manage their environmental protection systems at regional and interregional levels. The basic tasks these companies have, in terms of environmental management are:

- Suppression of soil, water and air pollution;
- Rational and efficient use of water resources;
- Implementation of ecologically acceptable production technology
- Application of ecologically acceptable materials;
- Preservation of rare species of plants and animals, etc.

Companies whose operations cause less environmental damage should establish a local level environmental management system [Elizabeth Delaney, Barbara Thomson, 2013]. This is primarily secured through strict compliance with defined regulations, ecological quotas, as well as standards, be they state level standards, national or international level standards. Aside from adhering to regulations the basic tasks of a company's environmental management are:

- Analyzing the environmental impact of the production process;
- Awareness and implementation of modern production processes which leave a smaller footprint, as well as
- Rational energy consumption, toxic material uses and waste and harmful gas emission reduction.

With a view to accomplishing the defined tasks in environmental protection, companies must allocate significant finances. Namely, these funds are invested in the standardization of the operation, rendering it compliant with defined standards regulating the area of environmental protection among which ISO 14000 is widely regarded and accepted. More on this standard in the continuation of the research paper. However, in addition to standardization, businesses must make significant investments in staff education to secure ecological operation, and they must also invest into new equipment and production technology, etc.

Quiet often companies must facilitate numerous activities and projects in environmental protection which are not necessarily related to their operation, however this is done in the spirit of philanthropy or social responsibility.

## EMAS and the ISO 14000 standard

An environmental management system is a system that requires full commitment to fulfilling obligations and removing problems and risks. Environmental aspects are organizational activity elements, products or services which may mutually affect the environment. Environmental management depends on the meaningfulness of an organization, an organization's environmental protection system's area of application, organizational obligations, organization context and activities, products and services and organizational activities themselves that influence aspects of the environment. Understanding an organization is important, as well as understanding of the context to secure the activity of important issues which may positively or negatively affect the environment.

Through the application of EMAS (environmental protection management and audit scheme) a company effectively identifies, assesses, and finds suitable solutions for environmental protection problems arising from their own processes [El-Gayar, Omar, Fritz, Brian, 2006]. EMAS has the potential to combine mandatory and non-binding requests which pertain to the environment, and which may, through their own action, positively affect the company's image. EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) is an ecological management and independent assessment system with which organizations assess the influence of their activity on the environment, inform the public on their current state assessment and promote operation efficiency in accordance with environmental requirements. EMAS is EU's voluntary scheme the goal of which is to facilitate companies' growth in compliance with environmental protection requirements [Wenk Micheal, 2006]. EMAS is regulated by a decree of the European Parliament and Commission and as such it entails obligatory implementations for all members of the European Union. By applying EMAS, Serbia, which is not a member of the EU, will meet the conditions for active participation in the European commercial network. Aside from the EMAS system, which is compulsory for all EU members, ISO 14000 is also desirable. Business and organization operation according to these standards create advantage on the European market.

An ISO standard that defines the living space as environment was released in 2004. The most significant areas that standards from this series tackle are [Paul de Backer, 1996; Jackson Suzan, 1997]:

1. Environmental protection management
2. Auditing environmental protection systems
3. Assessment of the effects of environmental protection systems
4. Standardized environmental protection for products/services
5. Assessing product life cycle from the aspect of environmental protection
6. Rating products according to environmental impact.

Standards are designed to be applicable worldwide. The goal of this standard is to prevent pollution through organized environmental protection. System compliance is important whereby a positive outcome of the goal is achieved. With the implementation of this standard the company itself reaps numerous benefits and those are presented in Figure.

With environmental protection management systems, the management executes the requirements of an organization's executives in terms of environmental protection. The purpose of the requirements is defined in the management manual with various guidelines and process descriptions which are implemented and monitor an environmental management system.

### **An Empirical Research of Environmental Protection Significance in the Republic of Serbia**

#### ***Empirical results regarding responsible attitudes of businesses towards the environment***

Zeng et al. conducted an analysis of socially responsible behavior towards the environment in small and medium-sized businesses, that is, they performed a quality analysis of their ecological management in China. Their results indicate that SMEs with various pollution levels have different ecological quality management systems. For SMEs with high pollution levels, it was shown that

social and market driving forces and government incentives have high impact on their ecological performance. Those who had lower pollution levels had lower investments in ecological management and the environment [Zeng et al., 2011].



ISO 14000 implementation benefits [SIQ – Slovenian Institute of Quality and Metrology]

Day et al. conducted an analysis with developed and developing countries to get an insight into corporate responsibility towards the environment. They examined the conduct of small and medium-sized enterprises towards the field of environmental protection and climate change and corporate social responsibility. The results they obtained show that the relation between the areas of environmental protection and climate change on one hand and corporate social responsibility on the other varies greatly depending on the industry type in a country. Namely, companies in developed countries put more emphasis on ecology compared to less developed countries.

Singh et al. conducted empirical research regarding the implementation of the ISO 14001 system in India. The results they got were that there was a connection between the implementation of the standard and company level waste reduction for companies that implemented it [Singh et al., 2015].

De Silva et al. conducted a survey in organizations to get data on ecological management system implementation in companies in Brazil. Based on the analysis they reached the conclusion that many companies consider ecological management systems a cost rather than a chance to grow and develop [Sena da Silva, G.C. and Dumke de Medeiros, D., 2004].

Weerasiri и Zhengang within their research discovered whether there was a connection between company attitude, environmental issue awareness and their environmental management practices. A survey based on a questionnaire was conducted to obtain the required information. Their analysis indicates that there is no significant relation between attitudes and awareness or attitudes and environmental management practices [Sudath Weerasiri, Zhang Zhengang, 2012].

Concerning domestic authors, this type of research is only conducted from the theoretical standpoint. without empirical analysis. This research aims to ameliorate this lack and as the basis of our research we use the work of foreign authors who have been listed above.

### *Defining the sample and the basic questions*

As previously stated, the goal of this research is to acquaint the reader with company level environmental protection management but also to address whether companies really care about environmental protection and the promotion of its quality. To meet the assignment of this research, a survey was conducted on a sample of 800 participants from the Republic of Serbia (RS). The study encompasses participants of diverse age, education levels and genders. Out of the total number of participants 440 are female and 360 are male.

The defined sample is adequate for reaching conclusions and giving corresponding recommendations [Verbeek, 2008; Adams, Lawrence, 2015]. The participants answered the following questions:

1. “Do you think that companies doing business on RS soil use natural resources rationally?”
2. “Do you think that domestic companies adhere to norms and standards which regulate the area of environmental protection?”
3. “Do you think that domestic companies allocate enough assets for the area of environmental protection?”

Within question 2 respondents can, if they answer positively, list the reasons for which they consider that companies do adhere to defined standards and norms in the field of environmental protection.

The software suite SPSS was used for processing the collected data. As far as tests are concerned, the test used was coefficient of contingency test. By summing up the obtained answers we can draw conclusions about the adequacy of domestic companies’ policies in terms of the environment. Based upon that we can give recommendations on how to improve the situation.

### **Research Results and Discussion**

The surveyed respondents answered the question “Do you think that companies doing business on RS soil use natural resources rationally?”. As it can be seen in table 1 only 14,9 % of the participants answered positively (119 participants), whereas 85,1 % of participants (about 681 of them) stated that they do not believe that companies operating in RS use natural resources rationally. In the female group 16,4 %, and in the male group 13,1 % gave a positive answer.

Table 1

Contingency Table – Question no. 1 [the authors results, based on the conducted survey]

		1		Total	
		YES	NO		
Sex	Female	Sum	72	368	440
		% within sex	16.4 %	83.6 %	100.0 %
		% within YES response	60.5 %	54.0 %	55.0 %
		% of total participants	9.0 %	46.0 %	55.0 %
	Male	Sum	47	313	360
		% within sex	13.1 %	86.9 %	100.0 %
		% within YES response	39.5 %	46.0 %	45.0 %
		% of total participants	5.9 %	39.1 %	45.0 %
Total	Sum	119	681	800	
	% within sex	14.9 %	85.1 %	100.0 %	
	% within YES response	100.0 %	100.0 %	100.0 %	
	% of total participants	14.9 %	85.1 %	100.0 %	



Thus, based on the obtained results from table number 1 we may conclude that the domestic public does not think that companies operating on our soil use natural resources rationally. The results of the second research question are shown in table number 2.

Table 2

Contingency Table – Question no. 2 [the authors results, based on the conducted survey]

		2		Total	
		YES	NO		
Sex	Female	Sum	150	290	440
		% within sex	34.09%	65.91%	100.0%
		% within the response	45.45%	61.07%	53.3%
		% of total participants	18.75%	36.25%	55%
Sex	Male	Sum	180	180	360
		% within sex	50%	50%	100.0%
		% within the response	54.55%	38.3%	46.43%
		% of total participants	22.5%	22.5%	45.0%
Total		Sum	330	470	800
		% within sex	41.25%	59.75%	100.0%
		% within the response	100.0%	100.0%	100.0%
		% of total participants	41.25%	59.75%	100.0%

Results from table no. 2 indicate a better state in terms of participants' opinions on companies and their relationship to the environment. Namely, question no. 2 pertains to whether the respondents consider that domestic companies adhere to the standards regulating the field of environmental protection. Based on table number 2 we see that 41.25 % of participants think that companies strictly adhere to the defined standards whereas 59.75 % of participants do not think the same way. This is important as it shows that domestic companies must adhere to the defined standards but to also indicate their adherence clearly to these regulations to the consumer considering that this may greatly impact reputation and customer loyalty in the future.

Out of the 41.25 % of participants who affirmatively responded to question number 2, 190 answered the additional question about the reasons due to which they believe that domestic companies adhere to defined standards and norms. 160 participants, that is, 84 %, believe that domestic companies adhere to the standards and regulations exclusively out of fear of sanctions while 30 of them think there is philanthropic behavior among domestic companies.

The results to the third research question, related to asset allocation for the field of environmental protection are given in table number 3. Just as with the two previously posed questions this one shows a lack of trust of the domestic public in companies operating within the Republic of Serbia.

Considering these results, we may notice that the participants do not think that companies within the Republic of Serbia allocate enough funds for the field of environmental protection. Namely, only 21.35 % of respondents believe that sufficient means are derived from companies to invest into activities which contribute to environmental protection and promote the quality of the environment, whereas up to 78.75 % of respondents believe that is not the case.

Based on the results of the conducted survey we may infer that domestic companies do not pay enough attention to environmental protection. As some primary recommendations for the future period the following may be given:

1. The state must secure adequate education in the field of ecological management for companies and to provide all the necessary support in this area;
2. Companies themselves must pay more attention to this area;
3. Greater investments from companies are necessary in this area to secure a reduction of negative footprint on the environment.

Table 3

Contingency Table – Question no. 3 [the authors results, based on the conducted survey]

		1		Total	
		YES	NO		
Sex	Female	Sum	90	350	440
		% within sex	20.5 %	79.5 %	100.0 %
		% within the response	52.9 %	55.5 %	54.2 %
		% of total participants	11.3 %	43.8 %	55.1 %
	Male	Sum	80	280	360
		% within sex	22.2 %	77.78 %	100.0 %
		% within the response	47.06 %	44.4 %	45.73 %
		% of total participants	10 %	35 %	45.0 %
Total	Sum	170	630	800	
	% within sex	21.35 %	78.75 %	100.0 %	
	% within the response	100.0 %	100.0 %	100.0 %	
	% of total participants	21.35 %	78.75 %	100.0 %	

### Conclusion

The issue of environmental protection and promotion of the quality of the environment is one of the key issues of modern society. Human and company actions in the past period have caused great damage when it comes to the quality of the environment. Thus, sustainable growth becomes an integral segment of developmental strategies of almost all countries in the world.

At state level numerous steps are taken aiming to protect and promote the quality of the environment. But these activities are undertaken at company level, too, through implementation of ecological management systems and their activities.

Activities within ecological management are directed at preventing negative effects of companies on the environment but there are numerous philanthropic activities aiming to promote the quality of the environment and raise ecological awareness.

Our country is categorized as a developing country. A lot of emphasis is placed on the question of environmental protection, but not as well as in developed countries and the reason for that are various other problems of, primarily, economic, and social character. As at state level the situation is similar when it comes to company level, which the analysis conducted in the research indicates. Namely, it points out that domestic public does not think that companies take environmental protection seriously. For this reason, this is an issue which must be addressed by the state itself, too, but also companies themselves for the benefit of the environment and their reputation at local and international levels.

### Sources

- Adams K.A., Lawrence E.K. 2015. *Research Methods, Statistics and Applications*, SAGE Publications, London, United Kingdom, 672 p.
- Elizabeth Delaney, Barbara Thomson. 2013. *Environmental Management System Development Process*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/22588>.
- European Environmental Agency. 2005. *Market-based instruments for environmental policy in Europe*, Technical report, Copenhagen, 155 pp.
- Jackson Suzan. 1997. *The ISO 14001 Implementation Guide: Creating an Integrated Management System*, John Wiley and Sons, New York, 304 p.
- SIQ – Slovenian Institute of Quality and Metrology. URL:<https://www.siq.si/sr/usluge/sertifikacija-sistema-menadzmenta/usluge/zivotna-sredina-i-energija/sistem-menadzmenta-zastitom-zivotne-sredine/> (date of access 10.04.2022).
- Verbeek M. 2008. *A Guide to Modern Econometrics*, John Wiley & Sons, Chichester, 446 p.
- Wenk Michael. 2006. *The European Union's Eco-Management and Audit Scheme (EMAS)*, Springer, Berlin, 275p.



## References

- El-Gayar, Omar and Fritz, Brian D. 2006. Environmental Management Information Systems (EMIS) for Sustainable Development: A Conceptual Overview. *Communications of the Association for Information Systems*, 17, 34. Available at: <http://aisel.aisnet.org/cais/vol17/iss1/34>
- Paul de Backer. 1996. *Umweltmanagement im Unternehmen*. Springer, Berlin, 252 p.
- Sena da Silva, G.C. and Dumke de Medeiros, D. 2004. Environmental management in Brazilian companies. *Management of Environmental Quality*, 15(4): 380–388. <https://doi.org/10.1108/14777830410540126>
- Singh Mitrabinda, Brueckner Martin, Prasanta Padhy Martin. 2015. Environmental Management System ISO 14001: Effective waste minimisation in small and medium enterprises in India. *Journal of Cleaner Production*, 102. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.04.028
- Stojanović, M., Đorđević, M. 2016. The role of environmental taxes in Serbian tax system. *Ekonomika*, Niš, 4: 75–85.
- Sudath Weerasiri, Zhang Zhengang. 2012. Attitudes and Awareness towards Environmental Management and its Impact on Environmental Management Practices (EMPs) of SMEs in Sri Lanka. *Journal of Social and Development Sciences*, 3(1): 16–23. DOI: 10.22610/jsds.v3i1.681
- Zeng Liang, Proctor Robert W., Salvendy Gavriel. 2011. Can Traditional Divergent Thinking Tests Be Trusted in Measuring and Predicting Real-World Creativity? *Creativity Research Journal*, 23(1): 24–37. DOI: 10.1080/10400419.2011.545713

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Филип Цветкович**, магистр наук, ассистент, Университет «Союз Никола Тесла», г. Белград, Сербия, Факультет прикладных наук, г. Ниш, Сербия

**Filip B. Cvetković**, M.Sc., Assistant, University „Union Nikola Tesla“, Belgrade, Serbia, Faculty of Applied Sciences, Nis, Serbia

**Александр Станкович**, доктор наук, доцент, Университет «Бизнес-академия», Факультет экономики и инженерного менеджмента, г. Нови-Сад, Сербия

**Aleksandar Z. Stanković**, Doc.Sc., Docent, University „Business Academy“, Faculty of Economics and Engineering Management, Novi Sad, Serbia

**Ясмينا Глигориевич**, доктор философии, профессор, Университет «Союз Никола Тесла», г. Белград, Сербия, Факультет прикладных наук, г. Ниш, Сербия

**Jasmina Gligorijević**, Ph.D., Professor, University „Union Nikola Tesla“, Belgrade, Serbia, Faculty of Applied Sciences, Nis, Serbia

# ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

## SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

УДК 005.6:378.4(470.325)

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-277-284

### Развитие системы менеджмента качества – конкурентное преимущество образовательных организаций

**Кучерявенко С.А.**

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

**Аннотация.** Особое значение в условиях неопределенности и турбулентности экономики занимает трансформация системы менеджмента качества на фоне ограничения ресурсов и достижения прежней результативности более эффективными методами. Возрастающий интерес к вопросам менеджмента качества обусловлен наличием жесткой конкурентной среды, а также необходимостью стандартизации всех процессов в рамках реализации стратегии цифрового развития и внедрения концепции Качество 4.0. В статье рассматривается конкурентное позиционирование университета на основе развития системы менеджмента качества, исследованы существующие дефиниции категории «конкурентное преимущество». Представлена практика формирования и развития системы менеджмента качества НИУ «БелГУ», инструменты и методы достижения результативности, эффективности и постоянного улучшения системы. Выделены основные подходы, необходимые для функционирования системы менеджмента качества в условиях реализации стратегии цифрового развития. Рассмотрен базовый набор критериев внедряемой концепции Качество 4.0. Результаты исследования могут быть использованы в процессе разработки маркетинговой стратегии, а также постоянного улучшения системы менеджмента качества образовательных организаций.

**Ключевые слова:** конкурентное преимущество, управление качеством, система менеджмента, образовательная организация, концепция Качество 4.0

**Благодарности:** исследование проведено в рамках международного проекта по программе Европейского союза Erasmus+ №619477-EPP-1-2020-1-NL-EPPKA2-SVHE-JP «Улучшение внутренней оценки качества образования в сфере преподавания и обучения в вузах Азербайджана и России, IQAinAR».

**Для цитирования:** Кучерявенко С.А. 2022. Развитие системы менеджмента качества – конкурентное преимущество образовательных организаций. Экономика. Информатика, 49(2): 277–284. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-277-284

### The Development of a Quality Management System is a Competitive Advantage of Educational Organizations

**Svetlana A. Kucheryavenko**

Belgorod National Research University,  
85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia  
E-mail: Kucheryavenko\_s@bsu.edu.ru

**Abstract.** Of particular importance in the conditions of uncertainty and turbulence in the economy is the transformation of the quality management system against the background of limited resources and the achievement of previous performance by more efficient methods. The growing interest in quality management issues is due to the presence of a tough competitive environment, as well as the need to standardize all processes as part of the implementation of the digital development strategy and the implementation of the Quality 4.0 concept. The article



discusses the competitive positioning of the university based on the development of a quality management system, examines the existing definitions of the category «competitive advantage». The practice of formation and development of the quality management system of the National Research University "BelSU", tools and methods for achieving effectiveness, efficiency and continuous improvement of the system are presented. The main approaches necessary for the functioning of the quality management system in the context of the implementation of the digital development strategy are identified. The basic set of criteria for the introduced concept Quality 4.0 is considered. The results of the study can be used in the process of developing a marketing strategy, as well as continuous improvement of the quality management system of educational organizations.

**Keywords:** competitive advantage, quality management, management system, educational organization, Quality 4.0 concept

**Acknowledgement:** The study was conducted within the framework of an international project under the European Union Erasmus+ program No. 619477-EPP-1-2020-1- NL-EPPKA2-CBHE-JP "Improving the internal assessment of the quality of education in the field of teaching and learning in universities of Azerbaijan and Russia, IQAinAR".

**For citation:** Kucheryavenko S.A. 2022. The Development of a Quality Management System is a Competitive Advantage of Educational Organizations. Economics. Information technologies, 49(2): 277–284 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-277-284

---

## Введение

Сегодня университеты работают в новых конкурентных условиях, которые характеризуются цифровизацией образования, стремительным развитием информационно-коммуникационных образовательных технологий, использованием смешанного формата обучения, реализацией новых образовательных продуктов («микро-квалификации» и пр.) и как следствие возрастающей конкуренцией на рынке образовательных услуг. Профессиональных знаний у выпускников высшей школы порой недостаточно, требования к компетенциям, востребованным на рынке образовательных услуг, непрерывно меняются. Так, сегодня востребованы проектное мышление, умение работать в команде, умение быстро адаптироваться к изменяющимся условиям, предпринимательские навыки и пр.

Изменение конкурентных условий функционирования и направления развития высшей школы позволяют диагностировать новые вызовы и угрозы, а также определить тенденции обеспечения качества в сфере высшего образования. Запросы рынка труда предъявляют ряд вопросов к внутренней системе менеджмента качества: «Каким образом выстроить внутреннюю систему качества преподавания и обучения с учетом новых вызовов и конкурентных условий?», «Является ли сформированная система управления качеством эффективной и достаточно гибкой?», «Есть ли новые области, которые система обеспечения качества должна принять во внимание?», «Что понимать под конкурентным преимуществом образовательных организаций высшего образования?», «Как удержать конкурентную позицию на рынке образовательных услуг?». Все это требует от образовательных организаций высшего образования трансформации результатов идентификации конкурентных преимуществ в инструментарий для разработки маркетинговой стратегии.

## Основная часть

В системе рыночных отношений конкурентные преимущества занимают ведущее место. Во-первых, конкурентные преимущества являются целью маркетинговой стратегии организации; во-вторых, они выступают ключевыми факторами конкурентоспособности. Высшее образование оказывает влияние на развитие всех отраслей промышленности, поэтому появляется необходимость изучения конкурентных преимуществ образовательной организации.

Под конкурентными преимуществами понимаются уникальные характеристики, отличающие продукт или услугу от других аналогов на рынке. Впервые научное обоснование опре-

деления «конкурентное преимущество» дал Майкл Портер в 1970-80 годах. Вопросами изучения дефиниций категории «конкурентные преимущества» занимались Азоев Г.Л., Завьялов П.С., Липкина Е.Д., Лозовской Л.Ш., Поршнева А.Г., Райзберг Б.А., Киперман Г.Я., Перцовский Н.И., Фатхутдинов Р.А. и др. Анализируя определение «конкурентное преимущество», можно отметить наличие существенных отличий в трактовках разных авторов (таблица 1).

Таблица 1  
Table 1

Изучение дефиниций категории «конкурентное преимущество»  
Studying the definitions of the category "competitive advantage"

№	Определение	Автор
1	Конкурентное преимущество выражается либо в более низких чем у конкурентов издержках, либо в способности изменять и контролировать цену с надбавкой, которая превышает дополнительную стоимость изменения цен. Некоторые конкурентные преимущества являются следствием различий в операционной эффективности, но наиболее существенные преимущества выражаются в том, что их носитель занимает уникальную конкурентную позицию [Портер М, 1993].	М. Портер
2	Основа конкурентного преимущества – человеческий фактор. Более конкурентоспособным предприятие может стать при наличии в его штате эффективных управляющих, при ориентации на знание [Хайек Ф, 1989]	П. Друкер, Ф. Хайек
3	Концентрированное проявление превосходства над конкурентными в экономической, технической, организационной сферах деятельности предприятия, которое можно измерить экономическими показателями (доля рынка, прибыль, рентабельность) [Азоев Г.Л., Челенков А.П., 2000].	Г.Л. Азоев, А.П. Челенков
4	Конкурентные преимущества определяются степенью соконкуренции [Бранденбургер А., Нейлбафф Б, 2012]	А Бранденбургер, Б. Нейлбафф
5	Конкурентные преимущества – это экономические отношения субъекта хозяйствования, проявляющиеся в превосходстве над конкурентами на конкурентном рынке в реализовавшихся условиях воздействия окружающей среды [Сафиуллин Н.З., Сафиуллин Л.Н., 2022].	Н.З. Сафиуллин, Л.Н. Сафиуллин
6	Характеристики, свойства товара или марки, которые создают для фирмы определенное превосходство над своими прямыми конкурентами. В основе конкурентного преимущества лежит более эффективное использование ресурсов [Ламбен Ж.Ж., 2008].	Ж.Ж. Ламбен
7	Какая-либо эксклюзивная ценность, которой обладает фирма и которая дает ей превосходство перед конкурентами. При этом под ценностью подразумевается «нечто особенное, то, чем система владеет (содержит в себе), стремится сохранить, либо иметь в будущем» [Фатхутдинов Р.А., 2000].	Р.А. Фатхутдинов
8	Положение фирмы на рынке, позволяющее ей преодолевать силы конкуренции и привлекать к себе покупателей. Основой конкурентного преимущества являются уникальные активы предприятия либо особая компетентность в сферах бизнеса [Агеева Н.Г., 2015].	Н.Г. Агеева
9	Конкурентные преимущества университетов – это «заклученные в результатах деятельности вузов отличительные ценности, возможность получения которых побуждает клиента принять решение в пользу конкретного учебного заведения [Липкина Е.Д., 2009]».	Е.Д. Липкина
10	Конкурентные преимущества университета основываются на компетенциях его персонала, то есть в основе конкурентных преимуществ лежит специфический опыт работы, навыки и профессионализм сотрудников учебного заведения, которыми не обладают конкуренты и которые нельзя приобрести за короткий отрезок времени [Екшикеев Т.К., 2009].	Т.К. Екшикеев



Так, М. Портер, А. Бранденбургер, Б. Нейлбафф, Н.З. Сафиуллин, Л.Н. Сафиуллин в толковании определения «конкурентное преимущество» основываются на рыночном подходе. В работах других авторов прослеживается ресурсный подход к определению конкурентных преимуществ организации. Г.Л. Азоев, А.П. Челенков, Н.Г. Агеева, Р.А. Фатхутдинов, П. Друкер, Ф. Хайек, Ж.Ж. Ламбен, Е.Д. Липкина, Т.К. Екшикеев свои определения дают с учетом специфики деятельности образовательной организации.

Новые социально-экономические условия и вызовы внешней среды диктуют необходимость повышения конкурентоспособности образовательных организаций высшего образования в российском и международном научно-образовательном пространстве и требуют актуализации их маркетинговой стратегии.

Маркетинговая политика университета должна основываться на понимании настоящих и будущих потребностей и достигаться путем постоянного взаимодействия с потребителями. В этой связи, именно эффективная и результативная система менеджмента качества является одним из конкурентных преимуществ образовательной организации. Сформированная система менеджмента качества в образовательных организациях должна быть достаточно гибкой и непрерывно улучшаться. В ее основу должен быть заложен основополагающий принцип менеджмента качества – ориентация на потребителя.

Вне всякого сомнения, средством реализации стратегии, политики и достижения, поставленных НИУ «БелГУ» целей в области качества, является созданная, документально оформленная и постоянно развивающаяся внутренняя система менеджмента качества.

При формировании системы менеджмента качества в НИУ «БелГУ» придерживались принципа «от системы к стандарту». То есть разработка процессной модели СМК заключалась в приведении всех существующих элементов системы обеспечения качества подготовки обучающихся в соответствие с требованиями ISO 9001:2015 «Системы менеджмента качества. Требования», ISO 21001:2018 «Системы менеджмента качества образовательных организаций», а не наоборот.

Результативность и постоянное улучшение СМК обеспечивается в соответствии с европейскими стандартами гарантии качества ESG-ENQA2, ISO 9004:2019 «Менеджмент качества. Качество организации. Руководство по достижению устойчивого успеха организации», а также применения в рамках самооценки деятельности университета Модели премии Правительства РФ в области качества как эффективного инструмента системного менеджмента.

Свидетельством результативности внутренней системы обеспечения качества может служить успешное прохождение международной профессионально-общественной аккредитации, так, 24 образовательные программы, реализуемые НИУ «БелГУ», включены в европейский реестр аккредитованных программ.

Важной частью внутренней системы менеджмента качества и маркетинговой политики в НИУ «БелГУ» является ориентация на интересы и требования потребителей образовательных услуг. Потребности и ожидания заинтересованных сторон университета определяются на основании требований государства к уровню квалификации выпускника, установленные ФГОС; работодателей к уровню освоения профессиональных компетенций выпускниками; запросов и ожиданий обучающихся и их родителей, преподавателей и других сотрудников университета.

По нашему мнению, основными группами внутренних потребителей, на чье мнение должен ориентироваться университет, являются обучающиеся всех направлений подготовки/специальностей, слушатели курсов ДПО, преподаватели, сотрудники. К внешней группе потребителей университета следует относить абитуриентов, работодателей, родителей, выпускников.

Ежегодный социологический мониторинг системы менеджмента качества НИУ «БелГУ» проводится по всем группам внутренних и внешних потребителей образовательных услуг университета: абитуриенты; обучающиеся (бакалавры, магистранты, интерны, ординаторы, аспиранты, докторанты, студенты-инвалиды и обучающиеся с ОВЗ, иностранные обучающи-

еся); слушатели ДПО; преподаватели; сотрудники; работодатели; родители; выпускники. В 2021 году выборка респондентов составила более 10 300 человек, в том числе 432 работодателя [Отчет о результатах мониторинга удовлетворенности потребителей в сфере образовательных услуг за 2021-22 гг.].

Управление качеством распространяется на все процессы, реализуемые университетом, начиная от проектирования образовательной программы до трудоустройства выпускников и повышения их квалификации на протяжении всей жизни. Университеты, внедрившие систему менеджмента качества, имеют инструментарий для эффективного управления, могут поддерживать стандарты качества и решать возникающие проблемы во всех цепочках создания ценностей гораздо быстрее и результативнее. В новых конкурентных условиях стратегическим конкурентным преимуществом образовательных организаций становится Качество 4.0.

Концепция Качество 4.0 определяет инновационный подход в управлении качеством, который включает наряду с внедрением лучших практик менеджмента предиктивную аналитику качества, 3D-контроль, стандартизацию и цифровизацию всех процессов СМК. В материалах исследований, проведенных аналитической компанией LNS Research в 2017 году, определены основные направления, необходимые для построения управленческих решений на основе концепции Качество 4.0: данные, аналитика, взаимодействие, сотрудничество, разработка приложений, масштабируемость, системы менеджмента, соответствие требованиям, культура, лидерство и компетенции [Клаус Шваб, Николас Дэвис, 2018].

Целевая модель системы менеджмента качества образовательной организации должна быть направлена на непрерывное улучшение деятельности с целью удовлетворения и предвосхищения ожиданий потребителей образовательных услуг, обеспечения гарантии качества подготовки выпускников, контроля качества образования в период обучения и в первые годы трудоустройства выпускника. Движущей силой в реализации модели СМК должен стать потребитель образовательных услуг.

В основе политики в области качества НИУ «БелГУ» заложены технологии концепции Качество 4.0. Такой подход, используемый в образовательной организации, позволяет применять в управлении качеством как традиционные методы, так и внедрять новые технологии. Кроме этого, для обеспечения непрерывного улучшения системы менеджмента качества НИУ «БелГУ» с 2018 года активно используются инструменты проектного менеджмента и технологии бережливого производства, внедрен метод «встроенное качество», используется инструмент «кружки качества», а также хороших результатов позволяет достичь использование «тиражирования лучших практик менеджмента» отдельных образовательных структурных подразделений.

В используемой концепции заложена идея применения отдельных инструментов гибких методологий проектного менеджмента, формирование клиентоориентированной культуры, внедрение эффективных методов управления ресурсами и концентрация внимания на проблеме устранения всех видов потерь. Формой применения этой концепции в практике бережливых университетов становится реализация бережливых проектов.

Бережливый проект отличается от прочего тем, что эффективность реализации проекта достигается с использованием методики бережливого управления. Применение на практике этих инструментов позволяет достичь намеченных результатов более эффективно и с меньшими затратами. На всех стадиях реализации проекта (будь то инициация проекта, планирование, исполнение, мониторинг или контроль) предполагается снижение затрат на избыточные действия, сокращение времени протекания процесса, сокращение количества касаний документа, времени ожидания и пр. Использование проектного подхода дает возможность сформулировать четкие, измеримые и достижимые цели в области качества, а также разработать и реализовать мероприятия по их достижению. Данная концепция используется как основная методика достижения постоянного улучшения системы менеджмента качества через улучшение отдельных процессов системы.



Качество 4.0 является стратегическим преимуществом университета в новых условиях межвузовской конкуренции в российском и международном научно-образовательном пространстве и важным условием для реализации стратегии цифрового развития НИУ «БелГУ». Картирование процессов СМК университета и сравнительный анализ позволяют определить вектор развития системы на основе концепции Качество 4.0 (таблица 2).

Таблица 2  
Table 2

Матрица применения концепции Качества 4.0 в образовательных организациях  
 Matrix for applying the concept of Quality 4.0 in educational organizations

Традиционное управление качеством	Критерий	Концепция Качество 4.0
Документы в большом объеме в бумажной форме	Документооборот	Электронный документооборот
Центр менеджмента качества	Ответственные исполнители	Департамент цифрового развития и центр менеджмента качества
Требования и ожидания потребителей	На входе	Ключевые показатели эффективности (KPI)
Результаты СМК, продукция и услуги	На выходе	Аналитические данные для принятия решения
В установленные сроки	Время предоставления информации	В режиме реального времени
14 принципов управления качеством по Э. Демингу, цикл Шухарта – Деминга (PDCA), причинно-следственная диаграмма К. Исикавы, спираль качества Дж. Джурана, Решетка зрелости Ф. Кросби и пр.	Используемые инструменты, методы и технологии	Аддитивные технологии, цифровые технологии, блокчейн, большие данные, облачное хранение информации, предиктивная аналитика качества и пр.
Описание и документирование	Управление бизнес-процессами	Программирование и автоматизация
Закрытость информации	Документированная информация	Прозрачность информации
На основе свидетельств внутреннего аудита СМК, результатов анализа СМК со стороны руководства, мониторинга удовлетворенности потребителей образовательных услуг, применения статистических методов	Принятие управленческих решений	Применение информационных технологий, искусственного интеллекта для анализа баз данных в режиме реального времени
Операционная функция управления	Понятие «менеджмент качества»	Стратегическая бизнес-инициатива

Матрица применения концепции Качество 4.0 в образовательных организациях позволяет определить базовый набор критериев внедряемой концепции, а также провести сравнительный анализ отличий традиционного управления качеством и концепции Качество 4.0. Однако Качество 4.0 не заменяет традиционное управление качеством, а связывает его с инновационными технологиями для трансформации СМК вуза.

### Заключение

Высокое качество продукции и услуг является основной составляющей конкурентоспособности любого предприятия, не исключение и образовательные организации высшего образования. Глобальные изменения в национальной экономике, трансформация высшего образования, жесткая конкуренция, растущие требования по соблюдению нормативных до-

кументов со стороны контролирующих органов, все это заставляет образовательные организации больше внимания уделять менеджменту качества.

Рынок образовательных услуг отличается отраслевыми факторами, проявляющимися в особенностях содержания, технологии и условиях реализации образовательных услуг; в структуре и уровне профессиональных компетенций профессорско-преподавательского состава; в закономерностях конкурентного взаимодействия заинтересованных сторон; в составе субъектов рынка.

Сегодня уже недостаточно своевременно и в соответствии с требованиями оформлять документированную информацию преимущественно в бумажной форме. Отдельные процессы СМК в университетах уже оцифрованы в полном объеме, другие для преобразования в цифровую форму требуют детальной стандартизации. Внедрение цифровых технологий в университете позволяет получить свидетельства постоянного улучшения. В рамках реализации стратегии цифрового развития особое внимание необходимо уделять требованиям к защите информации.

Внедрение в образовательных организациях концепции Качества 4.0 позволит достичь не только постоянного улучшения системы менеджмента качества вуза, но и перейти к трансформации культуры менеджмента качества, основанной на лидерстве и сотрудничестве, участии в процессах, доверии и расширении полномочий сотрудников, вовлечении обучающихся, как равноправных партнеров, в основные процессы деятельности университета.

### Список источников

- Агеева Н.Г. 2015. Справочник по конкуренции и конкурентоспособности. КГУ, 121 с.
- Бранденбургер А., Нейлбафф Б. 2012. Конкурентное сотрудничество в бизнесе. Кейс, 352с.
- Отчет о результатах мониторинга удовлетворенности потребителей в сфере образовательных услуг за 2021–22 гг. Режим доступа: URL: <https://bsuedu.ru/bsu/info/officialdocs/sections.php?ID=160> (дата обращения 05.05.2022).
- Отчет о результатах самообследования Белгородского государственного национального исследовательского университета за 2021 год. Режим доступа: URL: <https://bsuedu.ru/bsu/info/officialdocs/sections.php?ID=174#sect3> (дата обращения 05.05.2022).
- Программа развития НИУ «БелГУ» на 2021–2030 годы в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» Режим доступа: URL: <https://bsuedu.ru/bsu/info/officialdocs/sections.php?ID=174#sect3> (дата обращения 05.05.2022).

### Список литературы

- Азоев Г.Л., Челенков М. 2000. Конкурентные преимущества фирмы. ОАО «Типография «НОВОСТИ», 256 с.
- Горбашко Е.А. 2019. Качество 4.0 и большие данные в управлении образованием. Эффективные системы менеджмента: качество и цифровая трансформация. Материалы VIII международного научно-практического форума: 17–21.
- Екшикеев Т. 2009. Конкурентоспособность и конкурентные преимущества вуза. Проблемы современной экономики, 4: 392–396.
- Клаус Шваб, Николас Дэвис 2018. Технологии четвертой промышленной революции. Изд-во «Эксмо», 410 с.
- Кузнецова Н.В. 2021. Конкурентоспособность образовательной организации: к вопросу определения критериев развития на современном этапе. Управление организацией, бухгалтерский учет и экономический анализ: вопросы, проблемы и перспективы развития. Материалы VI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Под общей редакцией Н.В. Кузнецовой. Магнитогорск: 78–84.
- Ламбен Ж.Ж. 2008. Менеджмент, ориентированный на рынок. Питер, 720 с.
- Липкина Е. 2009. Обеспечение конкурентоспособности вузов при реализации эффективной маркетинговой деятельности. ОмГПУ, 358 с.
- Надточий Ю.Б. 2021. Качество преподавания и качество учебных занятий как конкурентное преимущество образовательной организации. Самоуправление, 4(126): 521–524.



- Портер М. 1993. Международная конкуренция. Международные отношения, 600 с.  
Сафиуллин Н.З., Сафиуллин Л.Н. 2002. Конкурентные преимущества и конкурентоспособность. Изд-во Казан. ун-та, 104 с.  
Фатхутдинов Р.А. 2000. Конкурентоспособность: экономика, стратегия, управление. ИНФРА-М, 452 с.  
Хайек Ф. 1989. Конкуренция как процедура открытия. Мировая экономика и международные отношения, 12: 6–14.

### References

- Azoev G.L., Chelenkov M. 2000. Competitive advantages of the firm. ОАО Typography NOVOSTI, 256 p.  
Gorbashko E.A. 2019. QUALITY 4.0 and big data in education management. Effective management systems: quality and digital transformation. Materials of the VIII international scientific and practical forum: 17–21.  
Ekshikeev T. 2009. Competitiveness and competitive advantages of the university. Problems of Modern Economics, 4: 392–396.  
Klaus Schwab, Nicholas Davis 2018. Technologies of the fourth industrial revolution. Eksmo Publishing House, 410 p.  
Kuznetsova N.V. 2021. Competitiveness of an educational organization: on the issue of determining development criteria at the present stage. Organization management, accounting and economic analysis: issues, problems and development prospects. Materials of the VI All-Russian (national) scientific-practical conference. Under the general editorship of N.V. Kuznetsova. Magnitogorsk: 78–84.  
Lambin J.J. 2008. Market Oriented Management. Peter, 720 p.  
Lipkina E. 2009. Ensuring the competitiveness of universities in the implementation of effective marketing activities. OmGPU, 358 p.  
Nadtochiy Yu.B. 2021. The quality of teaching and the quality of studies as a competitive advantage of an educational organization. Self-management, 4 (126): 521–524.  
Porter M. 1993. International competition. International relationships, 600 s.  
Safiullin N. Z., Safiullin L. N. 2002. Competitive advantages and competitiveness. Publishing house Kazan. un-ta, 104 p.  
Fatkhutdinov R.A. 2000. Competitiveness: economics, strategy, management. INFRA-M, 452s.  
Hayek F. 1989. Competition as a discovery procedure. World Economy and International Relations, 12: 6–14.

**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

**Кучерявенко Светлана Алексеевна**, кандидат экономических наук, доцент, директор Центра менеджмента качества, доцент кафедры управления и экономики фармации, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Svetlana A. Kucheryavenko**, PhD in Economics, Associate Professor; Director of the Center for Quality Management, Associate Professor of the Department of Management and Economics of Pharmacy, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 339.56  
DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-285-293

## Аутсорсинг логистических услуг в практике таможенной деятельности

Немченко О.А., Качурова Е.В., Гасанова В.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы 85  
E-mail: nemchenko\_o@bsu.edu.ru, kachurova@bsu.edu.ru, novichkova\_v@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Проблемы развития современной внешнеэкономической деятельности включают как соблюдение всех предусмотренных таможенным законодательством требований, так и решение вопросов, имеющих экономический характер, а именно перевозку и хранение товаров. В настоящее время все большее распространение получает аутсорсинг в таможенной логистике. Несмотря на значительный интерес ученых к вопросу предоставления услуг в таможенной сфере, не в полной мере исследованы организационные условия, способствующие развитию услуг аутсорсинга в таможенной сфере, и их реализация на практике. Предоставляемые в таможенной сфере услуги оказывают непосредственное влияние на ускорение и упрощение процессов таможенного оформления и контроля, минимизацию временных и финансовых затрат участников ВЭД, которые они неизбежно несут при прохождении установленных государством таможенных формальностей. Именно поэтому в современных условиях развития внешнеэкономической деятельности вопрос не теряет актуальности. Целью данного исследования является анализ современных тенденций развития аутсорсинга в таможенной логистике и направлений их совершенствования. В результате исследования были выделены преимущества и недостатки применения аутсорсинга, определены логистические процессы, передаваемые на аутсорсинг в таможенной логистике, а также актуальные тенденции развития аутсорсинга в современной логистике, положительно влияющие на экономику.

**Ключевые слова:** аутсорсинг, таможенная логистика, грузоперевозки, внешнеторговые операции, тенденции развития

**Для цитирования:** Немченко О.А., Качурова Е.В., Гасанова В.А. 2022. Аутсорсинг логистических услуг в практике таможенной деятельности. Экономика. Информатика, 49(2): 285–293. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-285-293

---

## Outsourcing in Customs Logistics: from Theory to Practice

Olga A. Nemchenko, Elena V. Kachurova, Valeria A. Gasanova

Belgorod National Research University  
85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia  
E-mail: nemchenko\_o@bsu.edu.ru, kachurova@bsu.edu.ru, novichkova\_v@bsu.edu.ru

**Abstract.** The problems of the development of modern foreign economic activity include both compliance with all the requirements stipulated by customs legislation, and the solution of issues of an economic nature, namely the transportation and storage of goods. Currently, outsourcing in customs logistics is becoming increasingly widespread. Despite the considerable interest of scientists in the issue of providing services in the customs sphere, the organizational conditions contributing to the development of outsourcing services in the customs sphere and their implementation in practice have not been fully investigated. The services provided in the customs sphere have a direct impact on speeding up and simplifying the processes of customs clearance and control, minimizing the time and financial costs of foreign trade participants, which they inevitably incur when passing customs formalities established by the state. That is why, in modern conditions of development of foreign economic activity, the question of the most profitable, from an economic point of view, customs service has become especially relevant. The purpose of this study is to analyze current trends in the development of outsourcing in customs logistics and directions for their improvement. As a result of the study, the advantages and disadvantages of outsourcing were highlighted, logistics processes outsourced



in customs logistics were identified, as well as current trends in the development of outsourcing in modern logistics that have a positive impact on the economy.

**Keywords:** outsourcing, customs logistics, cargo transportation, foreign trade operations, development trends

**For citation:** Nemchenko O.A., Kachurova E.V., Gasanova V.A. 2022. Outsourcing in Customs Logistics: from Theory to Practice. Economics. Information technologies, 49(2): 285–293 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-285-293

## Введение

Актуальность исследования современных тенденций развития аутсорсинга в таможенной логистике обусловлена наличием ряда факторов. Таможенная логистика в России является одним из важных звеньев, составляющих экономику страны, обеспечивая государству прогресс экономического развития, влияние на внешний рынок путем осуществления перевозок, и, как следствие, повышение уровня бюджета страны [Федоренко, 2014]. Таможенная логистика занимает важное место в околотаможенной инфраструктуре государства, в том числе удерживая российскую экономику на благоприятном уровне на мировой арене.

Развитие аутсорсинга объясняется необходимостью развития тех или иных организаций, технологических связей и технологий логистики. Логистический аутсорсинг крайне актуален как отдельная единица, осуществляющая свою деятельность в пользу организаций, он несет в себе цель повышения эффективности логистики. В процессе распространения концепции логистики особая роль принадлежит транспорту [Илюхина, 2016]. Наиболее распространены для аутсорсинга такие направления логистической деятельности, как транспортировка, таможенное оформление, грузопереработка, складирование, организация снабжения, обработка заказов и логистика возвратных потоков. В настоящее время все большее число компаний, занимаясь внешнеэкономической деятельностью и формируя логистическую стратегию, фокусируются на достижении баланса «логистические затраты – качество логистического сервиса», используя при этом концепцию аутсорсинга [Илюхина, 2016]. За счет своей новизны аутсорсинг в таможенной логистике Российской Федерации стремительно набирает популярность, при этом важно воспринимать аутсорсинг как элемент развития таможенной логистики.

Похожие проблемы рассматривала А.В. Боброва в статье «Современные тенденции аутсорсинга в таможенной логистике» [Боброва, Чернышева, 2017]. Однако в рамках данной статьи упор идет на выявление актуальных тенденций аутсорсинга с учетом влияния мировых тенденций.

Предметом исследования являются подходы к развитию аутсорсинга в таможенной логистике. Целью работы является изучение современных тенденций развития аутсорсинга в таможенной логистике, а также практика его совершенствования на современном этапе.

## Объекты и методы исследования

Аутсорсинг в Российской Федерации появился в 1998 году после появления рунета, однако активно развиваться начал лишь в 2016 году. Потребовалось достаточно времени для полноценного введения аутсорсинга в экономику государства. Развитие российского аутсорсинга выпало на период финансового и экономического кризиса, поэтому процесс его ввода занял определенное количество времени. Однако необходимо отметить тот факт, что, когда экономика государства стабилизировалась, аутсорсинг начал быстро набирать обороты [Кудина, Лахтина, Савин, 2021].

Аутсорсинг представляет собой передачу некоторых обязанностей специалистов другой организации на основе заключения договора. Аутсорсинг помогает распределить обязанности и уменьшить издержки организации, а также в случае пользования аутсорсингом можно передать лишь непрофильные дела организации. Аутсорсинг ВЭД в настоящее время – одна из востребо-

ванных услуг, т. к. доверив компании-аутсорсеру осуществление операций в сфере внешней торговли, организацию импорта и экспорта, а также перевозку груза из любых точек мира, компания сокращает расходы на содержание штата специалистов и снижает ряд проблем с оформлением на таможне, упрощение процедуры прохождения таможенного контроля и выпуска товаров для его последующей реализации на территории России [Зубаков, 2010].

Аутсорсинг включает ряд мероприятий, направленных на частичное или комплексное сопровождение внешнеторговых операций:

- заключение договоров с компаниями-поставщиками;
- ведение переговоров с партнерами из-за рубежа;
- перечисление платежей за товары;
- получение разрешительной документации;
- доставку грузов;
- таможенное оформление;
- уплату таможенных сборов и проведение прочих платежей.

Отдав таможенное оформление на аутсорсинг, можно получить ряд преимуществ:

- снизить проблемы с проведением операций по импорту и экспорту товаров;
- снижаются финансовые затраты на подбор, подготовку и содержание штатных специалистов по таможенному оформлению;
- исключить репутационные риски из-за несоблюдения сроков поставки и неточностей в составлении документов;
- создать оптимальные условия для дальнейшего развития в сфере международной торговли.

Кроме того, таможенное законодательство РФ постоянно корректируется. Представителям малого и среднего бизнеса сложно проводить регулярный мониторинг нововведений, а незнание деталей таможенного оформления экспорта и импорта товаров может создать трудности при прохождении контроля на таможне. Аутсорсер контролирует все бизнес-процессы, в том числе составление логистических схем, подготовку и подачу документации, таможенную очистку, выпуск товара и его доставку в пункт назначения.

У аутсорсинга есть ряд преимуществ и недостатков. К преимуществам относят:

1. Снижение себестоимости перевозки.
2. Возможность использования трудовых ресурсов в разных направлениях.
3. Возможность привлечения высококвалифицированных кадров в узконаправленных специальностях.
4. Доступ к различным необходимым ресурсам.
5. Высокое качество оказываемых услуг.

К недостаткам чаще всего относят:

1. Психологический фактор.
2. Утрата некоторых видов деятельности, обеспечивающих рыночное развитие экономики.
3. Возможная утечка информации в части уникальности производственного процесса.
4. Отсутствие контроля за частью переданной на аутсорсинг работы.

Таможенная логистика является самым новым направлением развития логистики в целом. Расширение и рост транспортной сети, которое повлекло усиление торговых связей между государствами всего мира, а также прогрессирующие процессы глобализации, выводят данное направление логистики в лидеры среди других направлений. Таможенная логистика согласовывает различные потоки в таможенной деятельности (финансовые, экономические), отработку стандартных классических требований к логистике, а также оптимальную технологию перемещения товаров через таможенную границу. Таможенная логистика относительно управления внешнеторговыми потоками рассматривается, как правило, через систему таможенно-тарифного и нетарифного регулирования, так как она способна обеспечить



минимизацию временных и финансовых затрат на перемещение товаров через таможенные границы стран в интересах всех участников ВЭД [Матвеев, Овчинникова, 2019].

Базис таможенной логистики – организация процесса транспортировки, включая ограничения, вызванные помещением под определенные процедуры. Логистика должна обеспечить согласованное перемещение товарных, финансовых потоков, а также оптимизацию данного процесса. Рассмотрим основные услуги, которые относятся к аутсорсингу в таможенной логистике. Они являются актуальными на сегодняшний день. Выделяют следующие логистические процессы, передаваемые на аутсорсинг в таможенной логистике.

1. Оформление валютного контроля. Данный логистический процесс включает в себя принятие решения по совмещению или разделению ответственности перед таможенными и налоговыми органами в части таможенного оформления и торговли на территории России.

2. Организация подготовки документооборота. На аутсорсинг по данному вопросу передаются такие задачи как подбор и оформление различных документов, касающихся таможенного оформления и таможенных процедур.

3. Транспортно-экспедиторские услуги. В перечень данной группы входят погрузочные работы, перевозка таможенного груза, проведение экспедиционных услуг, проведение складской логистики.

4. Услуги по таможенному оформлению: оформление деклараций, взаимодействие с таможенными органами до выпуска товаров, участие представителем в таких мерах дополнительного таможенного контроля как досмотры.

При решении вопроса о том, какие логистические функции необходимо передать на аутсорсинг, необходимо ориентироваться на возможности компании в части организации собственной логистики, корпоративную стратегию в части дальнейшего развития бизнеса (концентрация либо диверсификация), частоту и сложность поставок. Пандемия сыграла значительную роль в условиях развития современного аутсорсинга в таможенной логистике. Как оказалось, использовать аутсорсинг оказалось более выгодно, нежели работать без подрядчиков.

Выделяют ряд актуальных тенденций развития аутсорсинга в современной логистике, положительно влияющих на экономику компании.

1. Команда фокусируется на ключевых бизнес-процессах. Данная тенденция развития современного аутсорсинга относится к рутинным процессам деятельности компании. То есть любая глобальная организация, отдавшая на аутсорсинг свои непрофильные функции, может не переживать за решение текущих задач.

2. Решаются проблемы коммуникации. В связи с возможностью перехода на аутсорсинг по данному вопросу, процесс коммуникации меняется на оптимальный.

3. Необходимо меньше высокооплачиваемых сотрудников. Благодаря аутсорсингу можно сократить штат не сильно актуальных сотрудников для увеличения дохода предприятия.

4. Исчезает страх перед удаленной работой. Особо актуальная тенденция развития аутсорсинга. Данная тенденция наглядно позволяет осуществлять работу удаленно, не находясь на рабочем месте.

5. Решение проблемы информационной безопасности. Многие крупные аутсорсинговые компании соблюдают требования международных стандартов информационной безопасности ISO 27001. Сотрудники при приеме на работу подписывают соглашение о неразглашении информации, доступ к финансовым и кадровым данным клиентов имеют только те команды, которые их обслуживают. Во время пандемии ответственные компании аутсорсинга также соблюдают все правила информационной безопасности [Омарова, Кондраков, 2019].

## Результаты и их обсуждение

Совершенствование процесса применения современных тенденций развития аутсорсинга в таможенной логистике в современной России повышает уровни бюджета компаний, касающихся грузовых перевозок и упрощает в целом таможенную логистику. Аутсорсинг

качественно влияет на организации, что, несомненно, прямо влияет на объемы перевозок, а также объемы налогов, отчисляемых при таможенном оформлении государству.

Анализ российской статистики, а также статистики организаций и законодательства позволяет выявлять ряд проблем в области применения современного аутсорсинга в таможенной логистике. Таким образом, должны быть разработаны и приняты основные меры по модернизации регулирующей деятельности таможенной логистики и применения аутсорсинга. При этом наблюдается положительная динамика в применении современных тенденций развития аутсорсинга в таможенной логистике в РФ, но вместе с тем существуют и «проблемные зоны», требующие методологического обоснования и разработки практических рекомендаций, в частности:

1. Тенденция падения объемов грузовых перевозок из-за нестабильного экономического состояния страны. Данная проблема связана с ценами на топливо, налогообложением, а также повышением цен на услуги. Из-за нестабильной экономики невозможно просто решить данную проблему, скорее она является абстрактной и нерешаемой в перспективе. Однако необходимо наметить возможные пути решения, в частности, одним из важнейших решений данной проблемы является изменение системы налогообложения. В РФ достаточно высокая налоговая ставка, это в том числе касается и системы «Платон». Пересмотрев и изменив систему налогообложения, цены на услуги грузовых перевозок уменьшатся, тем самым повысив объемы перевозок.

2. Новизна применения аутсорсинга, а также проблемы со стороны современных тенденций развития. Основные пути решения данной проблемы заключаются в том, что в контрактах необходимо прописывать двухстороннее соглашение о сохранении организационных тайн, за разглашение которых подрядчик, оказывающий аутсорсинговые услуги, понесет ответственность. Для возможной утечки информации в контрактах необходимо прописывать двухстороннее соглашение о сохранении организационных тайн, за разглашение которых подрядчик, оказывающий аутсорсинговые услуги, понесет ответственность.

3. Проблемы осуществления деятельности таможенной логистики в периоды кризисных ситуаций в Российской Федерации. В настоящий момент российские логистические компании переживают не лучшие времена. По оценкам InfraOne, потери инфраструктурных отраслей РФ от эпидемии к началу мая 2020 составили примерно 507 млрд руб., из них почти 50 % – 230,3 млрд руб. – это потери транспортной отрасли (рис. 1) [Кудина, Лахтина, Савин, 2021].

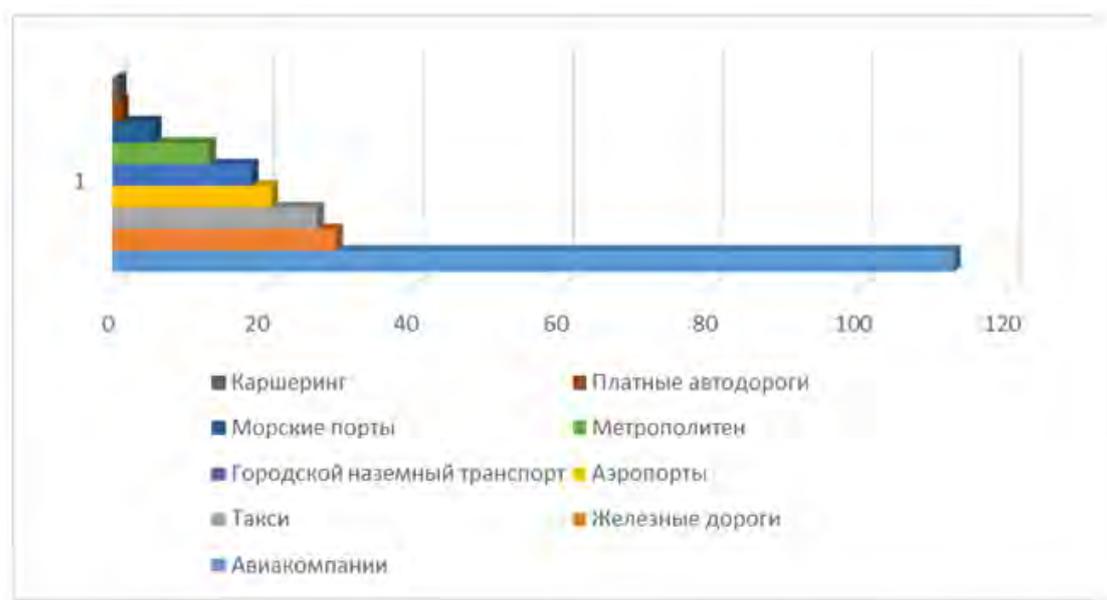


Рис. 1. Убытки транспортного сектора России на начало мая 2020 (млрд руб.)  
Fig. 1. Losses of the Russian transport sector at the beginning of May 2020 (billion rubles)



Можно утверждать, что на авиационный сегмент приходится большая часть финансовых потерь. В настоящее время данная часть транспортной отрасли практически прекратила логистические операции, а с учетом снижения объемов грузооборота складские площади практически простаивают. В сложной финансовой ситуации оказались также железнодорожные операторы, стивидоры и автотранспортные компании. Необходимо отметить, что в транспортной отрасли есть и те, кому пандемия принесла новые перспективы: логисты отмечают, что общим трендом является смещение грузопотоков на железнодорожный транспорт [Киреева, 2021].

К экономическим последствиям пандемии, в первую очередь, относится как снижение объемов импорта товаров из стран Евросоюза, так и уменьшение объемов экспорта из России в страны ЕС. Отмечается, что усиление карантинных мер при прохождении таможни провоцирует задержки и увеличение сроков доставки, вследствие чего происходит изменение логистических цепочек международных перевозок и рост внутрироссийского трафика.

В связи с мировым кризисом, спровоцированным пандемией COVID-19, логистическая отрасль остро нуждается в поддержке. Карантинные меры, принятые для подавления пандемии коронавируса, привели к загруженности большинства аэропортов и морских терминалов и, как следствие, нарушению условий и сроков доставки грузов.

При этом каждый вид транспортных перевозок несет потери, однако важно умение адаптироваться. Конечно, помимо негативных последствий, существуют и положительные, например, развитие информационных систем или обмен опытом, рост погрузки продуктов питания. Однако положительных моментов все-таки меньше, чем отрицательных.

Рассмотрим тенденции адаптации таможенной логистики в условиях кризиса. Это и будет являться решениями данной актуальной проблемы.

1. Антидемпинг на логистическом рынке. Ведется медленная борьба с демпингом, что положительно влияет на рынок перевозок.

2. Уход слабых компаний с рынка. Многие мелкие перевозчики не выдержали натиска кризиса и перестали существовать или присоединились к более крупным. Для мелких компаний именно слияние и поглощение является хорошим шансом выживания.

3. Отказ от закупок. Негативная тенденция, поскольку из-за нехватки средств организации просто не обновляют свой парк транспортных средств.

4. Внедрение новейших информационных технологий. В 21 веке без информационных технологий не выживет ни одна компания, поскольку на информационных технологиях основано все развитие. Многие компании обновили свою информационную базу, что стало актуальным в нынешнее время.

5. Заказ перевозок с мобильного устройства. Появление отдельной отрасли «мобильные перевозчики». Высокоавтоматизированная логистическая цепочка сейчас очень востребована. Грузовладельцы нуждаются в полном спектре услуг с режимом доступа со своего мобильного устройства. Клиент получает возможность заказать перевозку на цифровизированной логистической платформе, нажимая на кнопку в мобильном приложении.

6. Развитие аутсорсинга. Большие обороты наберет тренд передачи непрофильных процессов и услуг на аутсорсинг. Хотя этот тренд активно развивается с 2000-х годов, сейчас он несет не только возможности сохранения бюджета, но и существенную экономию времени.

7. Перевод сотрудников на удаленную работу. Теперь удаленной работы боятся меньше, так как многие виды деятельности можно осуществить дистанционно.

8. Наличие антикризисного плана. Кризис предполагает разработку нового запасного плана для будущих кризисов экономики.

Тенденций развития таможенной логистики намного больше, однако именно эти наиболее актуальны. Именно эти тенденции являются и решением проблемы осуществления деятельности таможенной логистики в периоды кризисных ситуаций в Российской Федерации. Таможенная логистика остро нуждается в поддержке государством и потребителем, а многие из данных тенденций можно осуществлять через аутсорсинг. Именно так прослеживается взаимосвязь между современным развитием тенденций аутсорсинга и таможенной логистикой.

## Заключение

В условиях развития в России рыночных отношений влияние на внешнеэкономическую деятельность такого фактора как возможности услуг в таможенной сфере приобрело определяющее значение. Прохождение таможенных формальностей является не имеющей альтернативы обязанностью участника внешнеэкономической деятельности, желающего реализовать свое право на перемещение товаров и транспортных средств через таможенную границу. В целях решения основополагающих задач современных тенденций развития аутсорсинга в таможенной логистике необходимо разработать результативные меры по обеспечению применения аутсорсинга в таможенной логистике. Следует совершенствовать механизмы работы руководства таможенных органов в области таможенной логистики, руководства компаний логистических услуг, а также систематизировать работу ФТС России.

Применение современных тенденций аутсорсинга в таможенной логистике является новой мерой воздействия на экономику, способствующей повышению количества рабочих мест, качества оказываемых услуг, а также объему грузовых перевозок. Это способствует стимулированию развития экономики государства. Эффективное применение современных тенденций аутсорсинга в таможенной логистике возможно лишь при условии развития нормативно-правовой базы в данной сфере, а также сотрудничеству таможенных органов в сфере таможенной логистики и компаний, оказывающих услуги аутсорсинга, соответственно и органов власти.

В настоящее время практика применения современных тенденций аутсорсинга в таможенной логистике находится на стадии развития, поскольку это относительно новая отрасль. Закончился период ознакомления людей с аутсорсингом. Эффективность применения аутсорсинга доказана количеством преимуществ и стремительным развитием. Грамотное решение задач применения современных тенденций аутсорсинга в таможенной логистике, организации высоких объемов перевозок, прогноза развития аутсорсинга невозможно без проведения объективной оценки деятельности организаций, отвечающих за аутсорсинг, и таможенного регулирования.

На данный момент невозможно полностью доверять применению аутсорсинга в таможенной логистике ввиду наличия ряда ключевых проблем, без устранения которых не представляется возможным выведение на качественно новый уровень практики применения современных тенденций аутсорсинга в таможенной логистике, а также повышения количества объемов грузовых перевозок с помощью таможенной логистики. Должны быть найдены новые пути решения устаревших проблем, необходимо определить способы и возможности их реализации. Дальнейшему активному развитию рынка аутсорсинга логистических услуг в таможенной сфере будет способствовать стремление к повышению объемов внешнеэкономической деятельности, включая выход на международные рынки, расширение линейки используемых таможенных процедур, модернизацию производства с использованием импортного оборудования, зачастую обуславливающую необходимость приобретения сырья и материалов зарубежных производителей [Щербак, Дудорова, 2020].

## Список источников

- Аутсорсинг бизнес-процессов «за» и «против»: реферат статьи Джоша Берсина. Библиотека Максима Мошкова, 129. URL: <http://lib.ru/npj/librarian/chieflearningofficer/9tICFTQo0wodGtEIEW&cHash=462438b49ff22107f48aa3403717900a> (дата обращения: 02.03.2022).
- Логистические тренды 2020–2021 года: влияние пандемии COVID-19 на перевозки. URL: <https://www.retail.ru/articles/logisticheskie-trendy-2020-2021-goda-vliyanie-pandemii-covid-19-na-perevozki/> (дата обращения: 02.03.2022).
- О таможенном регулировании в Российской Федерации: федер. закон от 03 августа 2018 года № 289-ФЗ. СПС «КонсультантПлюс». Разд. «Законодательство». Информ. банк «Российское законодательство (Версия Проф)». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_304093/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_304093/) (дата обращения: 27.03.2022).
- Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: <http://www.gks.ru/> (дата



обращения: 02.03.2022).

Официальный сайт учета аутсорсинга WiseAdvice. URL: <https://1c-wiseadvice.ru/> (дата обращения: 02.03.2022).

Преимущества и недостатки аутсорсинга. Ваш кадровый ресурс. URL: <https://outsourcing-kadrov.ru/blog/preimushhestva-i-nedostatki-outsorsinga> (дата обращения: 02.03.2022).

Таможенный кодекс Евразийского экономического союза (приложение № 1 к Договору о Таможенном кодексе Евразийского экономического союза от 11 апреля 2017 года) (ред. 01 января 2018 года). СПС «Консультант Плюс» Разд. «Международные правовые акты». Информ. Банк «Международное право». [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_215315/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215315/) (дата обращения: 27.03.2022).

Шаблинская Г. 2020. Почему аутсорсинг в пандемию оказался выгоднее работы без подрядчиков. URL: [https://ubpo.ru/press/publications/pochemu\\_autsorsing\\_v\\_pandemiyu\\_okazalsya\\_vygodnee\\_raboty\\_bez\\_podryadchikov/](https://ubpo.ru/press/publications/pochemu_autsorsing_v_pandemiyu_okazalsya_vygodnee_raboty_bez_podryadchikov/) (дата обращения: 02.03.2022).

### Список литературы

- Боброва А.В., Чернышева А.Б. 2017. Современные тенденции аутсорсинга в таможенной логистике. Таможенное дело и внешнеэкономическая деятельность компаний, 3(4): 76–86.
- Зубаков Г.В. 2010. Инновационные аспекты логистики внешнеэкономической деятельности. Идеология построения единой информационной среды. Транспортное дело России, 1: 85–89.
- Илюхина С.С. 2016. Аутсорсинг логистических услуг в практике внешнеэкономической деятельности. Образование и право, 5: 98–107.
- Илюхина С.С. 2016. К вопросу о проблемах и перспективах развития логистики в России на современном этапе. Образование и право, 6: 115–118.
- Киреева В. 2021. Логистические тренды 2020–2021 года: жизнь во время и после пандемии. М., Инфра-М, 352 с.
- Кудина А.В., Лахтина Е.П., Савин Г.В. 2021. Аутсорсинг в логистике. Россия: тенденции и перспективы развития: 366–368.
- Матвеев В.В., Овчинникова А.В. 2019. Роль логистических сервисов в организации торговли. Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право», 29(1): 48–54.
- Омарова З.К., Кондраков А.В. 2019. Логистический аутсорсинг в системе стратегического развития промышленных компаний. Региональные проблемы преобразования экономики, 10(108): 44–51.
- Полухин И.В. 2016. Таможенный аутсорсинг на примере таможенного представителя. Управление инвестициями и инновациями, 2: 69–73.
- Федоренко Р.В. 2014. Возможности развития таможенного обслуживания на основе аутсорсинга. Известия Уральского государственного экономического университета, 4(54): 95–99.
- Щербак В.Г., Дудорова Т.Ю. 2020. Современные тенденции развития аутсорсинга в таможенной логистике. The scientific heritage, 45. С. 59–63.

### References

- Bobrova A.V., Chernysheva A.B. 2017. Sovremennyye tendencii autorsoringa v tamozhennoj logistike [Modern outsourcing trends in customs logistics]. Tamozhennoe delo i vshneekonomicheskaya deyatel'nost' kompanij, 3(4): 76–86.
- Zubakov G.V. Innovacionnyye aspekty logistiki vshneekonomicheskoy deyatel'nosti. Ideologiya postroeniya edinoj informacionnoj sredy [Innovative aspects of logistics of foreign economic activity. Ideology of building a unified information environment]. Transportnoe delo Rossii, 1: 85–89.
- Ilyukhina S.S. 2016. Outsorsing logisticheskikh uslug v praktike vshneekonomicheskoy deyatel'nosti [Outsourcing of logistics services in the practice of foreign economic activity]. Obrazovanie i pravo, 5: 98–107.
- Ilyukhina S.S. 2016. K voprosu o problemah i perspektivah razvitiya logistiki v Rossii na sovremennom etape [To the question of the problems and prospects of logistics development in Russia at the present stage]. Obrazovanie i pravo, 6: 115–118.
- Kireeva V. 2021. Logisticheskie trendy 2020–2021 goda: zhizn' vo vremya i posle pandemii [Logistics trends of 2020–2021: life during and after the pandemic]. M., Infra-M, 352 p.
- Kudina A.V., Lakhtina E.P., Savin G.V. 2021. Outsorsing v logistike. [Outsourcing in logistics]. Rossiya: tendencii i perspektivy razvitiya: 366–368.

- Matveev V.V., Ovchinnikova A.V. 2019. Rol' logisticheskikh servisov v organizacii torgovli [The role of logistics services in the organization of trade]. Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Ekonomika i pravo», 29(1): 48–54.
- Omarova Z.K., Kondrakov A.V. 2019. Logisticheskij outsorsing v sisteme strategicheskogo razvitiya promyshlennykh kompanij [Logistics outsourcing in the system of strategic development of industrial companies]. Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki, 10(108): 44–51.
- Polukhin I.V. 2016. Tamozhennyj outsorsing na primere tamozhennogo predstavatelya [Customs outsourcing by the example of a customs representative]. Upravlenie investitsiyami i innovatsiyami, 2: 69–73.
- Fedorenko R.V. 2014. Vozmozhnosti razvitiya tamozhennogo obsluzhivaniya na osnove outsorsinga [Opportunities for the development of customs services based on outsourcing]. Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta, 4(54): 95–99.
- Shcherbak V.G., Dudorova T.Yu. 2020. Sovremennye tendencii razvitiya outsorsinga v tamozhennoj logistike [Current trends in the development of outsourcing in customs logistics]. The scientific heritage, 45: 59–63.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Немченко Ольга Анатольевна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры социальных технологий и государственной службы, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Olga A. Nemchenko**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Social Technologies and Public Service, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Качурова Елена Владимировна**, старший преподаватель кафедры социальных технологий и государственной службы, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Elena V. Kachurova**, Senior Lecturer of the Department of Social Technologies and Public Service, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Гасанова Валерия Александровна**, аспирант кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Valeria A. Gasanova**, Postgraduate Student of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia



УДК 338.47

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-294-307

## Тенденции развития и проблемы регулирования на рынке морских перевозок природного газа

<sup>1)</sup> Русинов И.А., <sup>2,1)</sup> Чемерис О.С., <sup>3,1)</sup> Алексеенко Н.В., <sup>1)</sup> Уами А.

<sup>1)</sup> Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова,  
Россия, 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

<sup>2)</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

<sup>3)</sup> ООО «СКФ Менеджмент Сервисиз (Санкт-Петербург)»,  
Россия, 191186, г. Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, 3А  
E-mail: chemeris\_os@spbstu.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены тенденции развития мирового рынка сжиженного природного газа (СПГ), обоснована экономическая целесообразность его использования в качестве альтернативного топлива, выделены экономические преимущества морской транспортировки СПГ и рассмотрены проблемы ее регулирования. Целью работы является оценка российских перспектив на глобальном рынке природного газа и связанных с ними вопросов эффективности практического применения правил о морских грузоперевозках СПГ с учетом особенностей их регулирования при решении сложных вопросов торгового судоходства. Для достижения цели были поставлены задачи по оценке конъюнктуры рынка СПГ, экономическому анализу вариантов газотранспортировки, изучению основных типовых проформ чартеров по морским перевозкам СПГ, применяемых для унификации контрактных отношений (ExxonMobiltime 2000; ShellLNGTime 1,2,3,4; LNGVoy; ASBAGASVOY и др.), а также задачи по выявлению проблем регулирования экономико-правовых отношений в этой сфере, определению причин их появления, обоснованию экономических последствий их наступления и предложению рекомендаций для их нивелирования. В работе отмечены факты изменения свойств груза при транспортировке (испаряемость СПГ), что безусловно сказывается на его цене и влечет за собой убытки. Также негативные экономические последствия при этом связаны с высокими арендными ставками газозовов и задержками судов в пути. Одновременно с этим выявлена тенденция использования краткосрочных спотовых чартеров, которые могут не создавать таких же коммерческих отношений между владельцем и фрахтователем, как долгосрочные чартеры. Определено, что из-за специфики перевозок СПГ в их сопровождении преобладают тайм-чартерные отношения между судовладельцем и фрахтователем, однако сложность соблюдения условий перевозки сохраняется, что делает рейсовые (спотовые) контракты на перевозку СПГ по этим проформам недостаточно эффективными. Несмотря на наличие публикаций по этой проблематике, в открытом доступе отсутствуют исследования, направленные на практические решения этих проблем. В результате проведенного исследования и практического опыта реализации подобных контрактов выявлена и обоснована необходимость использования чартер-партии LNGVoy для заключения таких чартер-партий, что позволит повысить эффективность экономико-правового регулирования морских перевозок СПГ.

**Ключевые слова:** рынок природного газа, экономическая целесообразность, эффективность, стоимость транспортировки, морская перевозка, чартер-партия, сжиженный природный газ

**Для цитирования:** Русинов И.А., Чемерис О.С., Алексеенко Н.В., Уами А. 2022. Тенденции развития и проблемы регулирования на рынке морских перевозок природного газа. Экономика. Информатика, 49(2): 294–307. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-294-307

## Development Trends and Regulatory Problems in the Natural Gas Maritime Transportation Market

<sup>1)</sup> Igor A. Rusinov, <sup>2,1)</sup> Olga S. Chemeris, <sup>3,1)</sup> Nikita V. Alekseenko, <sup>1)</sup> Abdeljalil Ouami

<sup>1)</sup> Admiral Makarov State University of maritime and inland shipping,  
5/7 Dvinskaya St, St. Petersburg, 198035, Russia

<sup>2)</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
29 Polytechnicheskaya St, Saint-Petersburg, 195251, Russia

<sup>3)</sup> SCF Management Services (Saint-Petersburg) LLC»,  
3A Moika Embankment, 191186, Saint-Petersburg, Russia  
E-mail: chemeris\_os@spbstu.ru

**Abstract.** The article considers trends in the global market of liquefied natural gas (LNG), justifies the economic feasibility of its use as an alternative fuel, highlights the economic advantages of maritime transportation of LNG and considers issues of its regulation. The objective of the paper is to assess Russian prospects at the global LNG market and related issues of efficiency of the practical application of the rules for the sea transportation of LNG taking into account the peculiarities of their regulation when dealing with the complex issues of commercial shipping. In order to achieve the goal the following tasks were set: evaluation of the LNG market conditions, economic analysis of the gas transportation options, study of the main standard proformas of LNG sea shipping charters used for unification of contractual relations (ExxonMobiltime 2000; ShellLNGTime 1,2,3,4; LNGVoy; ASBAGASVOY and others. ), as well as the problems of regulating economic and legal relations in this area, identifying the causes of their occurrence, justifying the economic consequences of their occurrence and proposing recommendations for their leveling. The paper notes the facts of changing the cargo properties during transportation (LNG vaporizability), which undoubtedly affects its price and leads to losses. Also negative economic consequences are associated with high rental rates of gas carriers and delay of ships en route. At the same time, the tendency of using short-term spot charters, which may not create the same commercial relations between the owner and the charterer as long-term charters, has been revealed. It is determined that because of the specifics of LNG transportation, time-charter relationships between the ship owner and the charterer prevail in their escort, but the complexity of compliance with transportation terms remains, which makes voyage (spot) contracts for LNG transportation under these pro formas insufficiently effective. As a result, the necessity of use of LNGVoy charter party for conclusion of such charter parties is revealed and justified, which will provide increase of efficiency of economic and legal regulation of sea transportation of LNG.

**Keywords:** natural gas market, economic feasibility, efficiency, transportation cost, sea transportation, charter party, liquefied natural gas

**For citation:** Rusinov I.A., Chemeris O.S., Alekseenko N.V., Wami A. 2022. Development Trends and Regulatory Problems in the Natural Gas Maritime Transportation Market. Economics. Information technologies, 49(2): 294–307 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-294-307

---

### Введение

Россия является крупнейшим в мире экспортером природного газа, доминируя на рынках стран Европы и СНГ. Большие объемы добываемого в Арктике природного российского газа транспортируются по трубопроводам в европейские страны. Однако Европейский Союз (ЕС) продолжает осуществлять планомерные шаги с целью сократить зависимость от российского природного газа, в т. ч. увеличивая импорт нероссийского СПГ. В настоящее время доля российского природного газа в газовом импорте европейских стран снижается. Это может быть связано с целями ЕС устранить геополитический характер использования национальных трубопроводных газотранспортных систем и обеспечить энергетическую безопасность всех стран-членов посредством диверсификации поставщиков природного газа (в т. ч. путем осуществления поиска альтернативы российскому природному газу) [Козьменко, Маслобоев, Матвишин, 2018]. Одновременно с этим наблюдаются попытки ЕС переори-



ентировать мировые рынки природного газа с трубопроводного на СПГ [Хорошев, Попов, Гатин, 2019; Cherepovitsyn, Evseeva, 2021]. Очевидным перспективным решением в этой связи можно считать увеличение производства российского СПГ с последующей транспортировкой морским путем. СПГ имеет ряд коммерческих, экологических и энергетических преимуществ перед традиционными видами топлива (при применении в качестве моторного и котельного топлива), являясь экологичным, более дешевым по сравнению с традиционными видами топлива, а также более удобным в плане реализации больших объёмов, имеющим длительный срок использования оборудования для СПГ и позволяющим сократить вредные выбросы в атмосферу.

Результаты экспертных заключений, описанных в [Коммерсант, 2022; Агентство экономической информации «ПРАЙМ», 2022; Независимая газета, 2020; Ведомости, 2021], подтверждают тенденцию по замещению сжиженным природным газом трубопроводного газа в долгосрочной перспективе до 2040 г. В настоящее же время в процессе торговли природным газом наблюдаются значительные изменения, т. к. изначально продажа СПГ осуществлялась в рамках заключаемых долгосрочных контрактов. Претерпевание изменений можно связать с повышением объемов спотовой торговли СПГ на специализированных хабах (газовых биржах), что приближает трансформацию СПГ в самостоятельный глобальный [Агарков, Богачев, Веретенников и др., 2019] продукт. При этом в работах [Кирносков, Русинов, 2019; Пономаренко, Русинов, 2017] описаны серьезные требования, предъявляемые к современным судам, о соблюдении все более жестких условий по выбросам  $Sox$  и  $Nox$  в атмосферу. В настоящее время наблюдается утрата для трубопроводного природного газа экономического значения так называемой groningenской модели ценообразования [Козьменко, Маслобоев, Матвишин, 2018], т. е. перестают иметь имеющееся ранее существенное инновационное значение и выгодность грузоперевозок самого трубопроводного газа, и порядок определения контрактной цены (на основе котировок Роттердамской биржи (FOB ARA Barges) по так называемой «роттердамской формуле»). Учитывая удаленность арктических месторождений природного газа от основных рынков сбыта, важным является определение выгодности условий газотранспортировки по трубопроводам и морским путем в виде СПГ. Учеными подтверждено экономическое преимущество морской транспортировки арктического СПГ по сравнению с трубопроводом [Козьменко, Маслобоев, Матвишин, 2018; Thi Bich Van Pham, Aravopoulos Miltiadis, 2019; Cherepovitsyn, Evseeva, 2021].

При этом за последние десятилетия индустрия СПГ претерпела изменения, произошел переход от фрахтования танкеров СПГ на долгосрочной основе к краткосрочной или среднесрочной основе. В ряде источников [Кривцова, 2019; Бажанов, 2017; Иванова, Козьменко, 2021] уделено пристальное внимание оформлению договоров фрахтования для морских грузоперевозок, при этом эксперты особо акцентируют внимание на наличии особенностей перевозок природного газа морским путем и отмечают наличие проблем регулирования экономико-правовых отношений на рынке морских перевозок СПГ с участием российских судов. Важно отметить отсутствие в Гражданском кодексе Российской Федерации требований к содержанию договора фрахтования, при чем такие требования отсутствуют и в российском законодательстве, однако при этом в настоящее время существует более 200 форм чартеров, которые разработаны в отношении перевозок конкретных видов грузов. Так, остается нерешенной проблема разного трактования пунктов (clause) договора и наличие неопределенностей в трактовках этих пунктов, что делает рейсовые (спотовые) контракты по этим проформам невозможными, к тому же это приводит к разным коммерческим отношениям с разными контрагентами по одинаковым проформам. Несмотря на наличие публикаций по этой проблематике, в открытом доступе отсутствуют исследования, направленные на практические решения этих проблем и рекомендаций по повышению эффективности экономико-правового регулирования морских перевозок СПГ.

В условиях санкционных ограничений при устойчивой тенденции развития индустрии СПГ требуется решение проблем регулирования на рынке морских перевозок природного

газа. Целью настоящего исследования является оценка российских перспектив на глобальном рынке природного газа и связанных с ними вопросов эффективности практического применения правил о морских грузоперевозках СПГ с учетом особенностей их регулирования при решении сложных вопросов торгового судоходства.

### **Объекты и методы исследования**

Объект настоящего исследования – мировой рынок природного газа. Предмет исследования – факторы, определяющие современное состояние и перспективы международной торговли природным газом и условия его транспортировки. Решая соответствующие задачи по оценке конъюнктуры рынка СПГ и экономическому анализу вариантов газотранспортировки в данном исследовании проведен сравнительно-статистический анализ, которому подвержены данные 2016–2022 гг., свидетельствующие о подтвержденных запасах природного газа в мире, спросе на СПГ в странах Азиатско-Тихоокеанский региона, а также о других данных, характеризующих состояние мирового рынка сжиженного природного газа. При рассмотрении изучаемых процессов и явлений развития мирового рынка природного газа, выявлении проблем регулирования экономико-правовых отношений в сфере морской газотранспортировки и определении причин их появления в работе были использованы общенаучные методы познания экономических явлений, которые позволили выявить их существенные характеристики текущего состояния и перспектив, а также позволили определить противоречия при использовании в сделках рейсовых (спотовых) контрактов на транспортировку СПГ по наиболее распространенным проформам. При изучении основных типовых проформ чартеров по морским перевозкам СПГ исследованию были подвержены те, которые применяются для унификации контрактных отношений в этой сфере, а именно: ExxonMobiltime 2000; ShellLNGTime 1,2,3,4; LNGVoy; ASBAGASVOY и др. Для решения задач по обоснованию экономических последствий наступления проблем регулирования экономико-правовых отношений в сфере морской газотранспортировки и предложению рекомендаций для их нивелирования в процессе исследования применялись принципы структурного и системного анализа и синтеза, методы сравнительного анализа, индукции и дедукции.

Информационными источниками эмпирических данных по исследуемой теме в работе использовались российские и зарубежные нормативные и правовые акты и документы (Гражданский кодекс, Кодекс торгового мореплавания и Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации, уставы BIMCO Berkon-89), данные официальных сайтов органов государственной власти Российской Федерации, материалы и отчеты международных организаций и транснациональных компаний (Балтийский и Международный морской совет, Морской институт Великобритании, арбитраж в Лондоне, арбитраж в Нью-Йорке, Stephenson Harwood LLP, Shell, Газпром и др.). Кроме того, информационно-эмпирическую базу исследования составили результаты исследований групп ученых Кольского научного центра Российской академии наук, Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, а также шведских ученых Технического Университета Чалмерс и др. В работе также использовались данные информационных агентств, отечественных и зарубежных периодических изданий (Коммерсант: раздел «Газовый рынок», Агентство экономической информации «ПРАЙМ»: раздел «Мировая экономика», Независимая газета: раздел «Экономика», Ведомости: раздел «Экономика», РБК+: раздел «Топливо-энергетический комплекс»).

## Результаты и их обсуждение

В опубликованном компанией British Petroleum (BP) ежегодном Статистическом обзоре мировой энергетики – 2020 (рис. 1) опубликованы доказанные мировые запасы сжиженного газа. Как видно из табл. 1, Россия обладает самыми большими подтвержденными запасами газа в мире (порядка 19,1 % общемировых) и является лидирующим экспортером голубого топлива, включая СПГ, опережая в этом другие государства.



Рис. 1. Подтвержденные запасы природного газа в 2020 г.  
Fig. 1. Confirmed natural gas reserves in 2020

Возрастающую популярность СПГ можно объяснить его применением во многих отраслях промышленности, существенная же часть приходится именно на тепло- и электроэнергетику.

В январе 2022 г. на основе данных Европейской газовой инфраструктуры (Gas Infrastructure Europe) установлено, что поставки импортного СПГ в Европу достигли нового максимального рекорда и превысили 10,3 млрд м<sup>3</sup> регазифицированного СПГ против 9,9 млрд м<sup>3</sup> в ноябре 2019 г. [Коммерсант, 2022]. Среднесуточный показатель регазификации СПГ в целом в европейском регионе в январе 2022 г. оказался выше на 142 %, чем за аналогичный период 2021 г. [Агентство экономической информации «ПРАЙМ», 2022] Стоит отметить, что российский газ приобретают и компании-посредники: французская компания TotalEnergies, китайская – CNPC, а также Газпром, трейдер Gas Natural Fenosa и дочерняя компания НОВАТЭК, которая, в свою очередь, перепродает газ компаниям Shell и Gunvor. Представляется реальным предположить, что половина объема проданного природного газа перепродана конечным потребителям в Европе на рынке по более высоким, но приемлемым, ценам.

Министерство энергетики России, ссылаясь на данные Федеральной таможенной службы России, прогнозирует к 2030 г. повышение доли СПГ в структуре мировой торговли в 2,3 раза, а рост доли торговли трубопроводным газом всего на 15–20 %. Таким образом, эксперты Минэнерго предполагают, что в период с 2024 г. по 2035 г. превышение спроса над предложением создаст потенциальную нишу в объеме примерно 250 млн тонн относительно уровня 2020 г. в 300 млн [Независимая газета, 2020]. Эта тенденция по замещению сжиженным газом трубопроводного природного газа будет сохраняться и в долгосрочной перспективе до 2040 г. При этом в 2020 г. был зафиксирован значительный спад трубопроводного экспорта российского газа по газотранспортным системам на 7,2 млрд м<sup>3</sup> (-3,5% к 2019 г.) до итогового по 2020 году показателя в 200,5 млрд м<sup>3</sup>. Всё это подтверждает предположения о перспективности СПГ как быстрорастущего источника поставок газа в мире. На Рис. 2 продемонстрирован увеличивающийся спрос на СПГ в странах Азиатско-Тихоокеанский региона (АТР) с 2016 г. по 2021 г. В России в январе 2022 г. лицензия на экспорт СПГ, кроме Газпрома, есть у НОВАТЭКа и Роснефти. В 2021 г. Правительство России заявляло о планах нарастить объем экспорта СПГ в страны АТР, чтобы при развитии инфраструктуры расширить свои поставки, в итоге увеличив долю России на мировом рынке до 20 % и заняв пятую

часть всего мирового рынка СПГ [Ведомости, 2021]. Для развития инфраструктуры с целью поставок СПГ на рынки Азиатско-Тихоокеанского региона Правительство России выделило свыше 21 млрд руб.

Около 65 % запасов природного газа являются трудноизвлекаемыми, при этом возникают сложности из-за отсутствия близлежащих рынков сбыта голубого топлива, суровых климатических условий регионов месторождений, что порождает ограничение в распространении трубопроводной сети как на территории России, так и в других государствах.

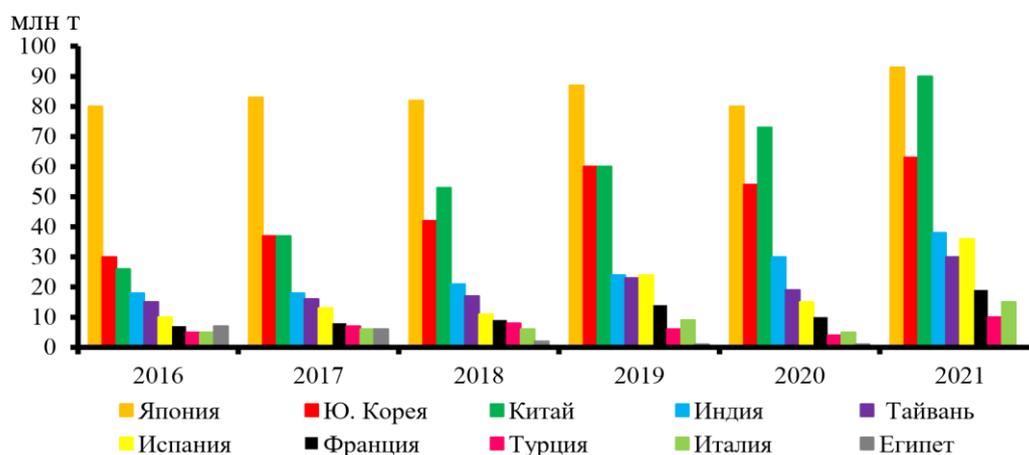


Рис. 2. Топ 10 стран-импортеров СПГ  
Fig. 2. Top 10 LNG importing countries

При решении данных проблем относительно технологический способ транспортировки газа танкерами в сжиженном состоянии имеет очевидное преимущество. В этой связи представляется важным произвести экономическую оценку вариантов газотранспортировки и проанализировать процесс регулирования морской транспортировки СПГ. Таким образом, в настоящее время наблюдается усиление экономической привлекательности СПГ по сравнению с трубопроводным газом. Эта устойчивая тенденция связывается в т. ч. с утратой для трубопроводного природного газа экономического значения так называемой гронингенской модели ценообразования [Козьменко, Маслобоев, Матвишин, 2018], т. е. перестают иметь имеющееся ранее существенное инновационное значение и выгодность грузоперевозок самого трубопроводного газа и порядок определения контрактной цены (на основе котировок Роттердамской биржи (FOB ARA Barges) по так называемой «роттердамской формуле»). В настоящее же время в процессе торговли природным газом наблюдаются значительные изменения, т. к. изначально продажа СПГ осуществлялась в рамках заключаемых долгосрочных контрактов. Претерпевание изменений можно связать с повышением объемов спотовой торговли СПГ на специализированных хабах (газовых биржах), что приближает трансформацию СПГ в самостоятельный глобальный продукт. При этом важно иметь ввиду серьезные требования от современных судов о соблюдении все более жестких условий по выбросам Sox и Nox в атмосферу, которые упоминались выше.

Следует учитывать удаленность арктических месторождений природного газа от основных рынков сбыта, поэтому целесообразным является выполнение расчета себестоимости газотранспортировки по трубопроводам и морским путем в виде СПГ. В работах [Козьменко, Маслобоев, Матвишин, 2018; Мизенко, 2021] выполнены такие эмпирические расчеты, результаты которых подтвердили экономическое преимущество транспортировки морским путем арктического СПГ по сравнению с трубопроводной. Учеными доказана рациональность осуществления замены трубопроводного газа сжиженным на европейских рынках и перспективность увеличения экспорта СПГ в страны АТР, что подтверждает необходимость эффективного экономико-правового регулирования соответствующих сделок.



Посредством совершенствования национального законодательства и обеспечения конструктивного международного сотрудничества участвующих в торговом морском судоходстве стран можно достичь эффективности экономико-правового регулирования отношений в этой сфере. Существенное значение при согласовании условий внешнеторговой сделки имеет именно правовое регулирование морских перевозок. Согласно [Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации, 2021], российское государственное законодательство распространяется на такие отношения в торговом мореплавании, при которых суда плавают под российским флагом. Это обстоятельство также определяется и в соответствии с международными договорами и устоявшимися традициями торгового судоходства. Вместе с этим важно отметить при заключении соглашения наличие права выбора у сторон другого применимого закона. На практике обычно так и происходит (преимущественно, когда одна из сторон соглашения не является российской стороной). В случае, когда стороны не определили применимое право, применяется право той стороны, к которой предъявлено требование: по договору морской перевозки – законодательство о месте нахождения [Кривцова, 2019.].

При рассмотрении процесса оформления договоров фрахтования для морских грузоперевозок можно выделить особенность, которая согласно Кодексу торгового мореплавания Российской Федерации (КТМ) заключается в выдаче коносамента при перевозке грузов (кроме письменного договора (чартера)). Чартер регулирует отношения фрахтовщика (перевозчика) и фрахтователя (грузоотправителя), при этом для получателя груза условия чартера обязательны в случае наличия отсылки к ним в коносаменте. В обратном случае отношения сторон регулируются только коносаментом. Наличие на морском транспорте стандартных форм (проформ) оформления договоров также является особенностью морских перевозок грузов. В настоящее время существует более 200 таких форм, которые разработаны в отношении перевозок конкретных видов грузов. Важно отметить отсутствие в Гражданском кодексе Российской Федерации требований к содержанию договора фрахтования, при чем такие требования отсутствуют в кодексах [Гражданский кодекс РФ, 2022; Кодекс торгового мореплавания РФ, 2021; Кодекс внутреннего водного транспорта РФ, 2022].

Кодекс торгового мореплавания РФ регулирует государственные правовые отношения в сфере морских перевозок, участником которых Россия является в последние годы, однако при этом преимущественное большинство всех норм этого кодекса учитывает и международные конвенции и соглашения. На практике применения же наблюдается ситуация, когда заключаемые контракты между сторонами не позволяют эффективно регулировать отношения между сторонами при транспортировке СПГ. В странах системы прецедентного права вопросы правоприменения решаются в соответствии с судебной практикой, а вопросы применимого права отражаются непосредственно в договорах морской перевозки (в уставах и коносаментах). Важно отметить, что есть несколько вариантов выбора применимого права согласно универсальным уставам ВМСО (Балтийский и Международный морской совет) *Verkon-89*: это английское право (арбитраж в Лондоне) или морское право США (арбитраж в Нью-Йорке) [Кривцова, 2019.].

В ходе исследования было выявлено, что рынок перевозок СПГ исключительно подвержен сезонным факторам, что означает, что судно может быть сдано в субфрахт в зимне-весенний период времени. Формально у судовладельца не возникает каких-то дополнительных отношений, однако в реальности субфрахтователи имеют возможность предъявлять претензии по окончанию рейса фрахтователю судна, который может адресовать их судовладельцу. Сложности заключаются в том, что фрахтователь и субфрахтователь могут заключить условия договора, противоречащие и/или не соответствующие чартер-партии, заключенной между судовладельцем и фрахтователем.

За последние десятилетия индустрия СПГ претерпела изменения, и произошел переход от фрахтования танкеров СПГ на долгосрочной основе к краткосрочной или среднесрочной основе [Nikki Chu, 2022]. Рейсовый чартер обычно используется для одного рейса на спотовом рынке, и рейсовые чартеры существуют для СПГ (например, LNGVOY). Однако

спотовый рынок для грузов СПГ появился недавно, и на практике многие владельцы все еще используют тайм-чартеры для краткосрочного бизнеса. Из-за специфики перевозок СПГ преобладают тайм-чартерные отношения между судовладельцем и фрахтователем, заключенные сроком на несколько и более лет. Причины нежелания индустрии СПГ использовать рейсовые чартеры разнообразны. Одной из особых проблем является то, как вопросы, характерные для перевозки СПГ, могут быть решены в рейсовых чартерах.

Чартер-партия (Charter party) – это контракт, заключенный между судовладельцем и фрахтователем, является разновидностью «свободного контракта», что значит, что условия контракта приняты по обоюдному согласию обеих сторон. Особенность такого контракта заключается в отсутствии международных регуляций, то есть все споры решаются в юридическом порядке в арбитраже или вне арбитража [Шутенко, 2017]. Для унификации контрактных отношений используют типовые проформы чартеров, для СПГ контрактов такими могут быть ExxonMobiltime 2000, ShellLNGTime 1,2,3,4 (измененная проформа ShellTime 4), LNGVoy (разработана BIMCO И GIIGNL на основе ShellLNGTime 1), ASBAGASVOY (разработана BIMCO) и другие.

Согласно определению тайм-чартера, владелец сдает свое судно в аренду фрахтователю, который поручает, где загрузить и где разгрузить предполагаемый груз. Помимо выплаты ставки фрахта судовладельцу, фрахтователь также оплачивает бункеровки и портовые сборы. Поскольку фрахтователь оплачивает все время, пока судно находится в аренде, он имеет коммерческий контроль над судном, владелец по-прежнему несет ответственность за эксплуатацию, укомплектование экипажем и страхование судна. В определении тайм-чартера указано, что фрахтователь оплачивает бункер, что в специфике СПГ перевозок не всегда верно, т. к. большинство танкеров-газовозов (за исключением судов с тихоходными дизелями и затратными установками по повторному сжижению газа (Q-Flex и Q-Max), объем таких судов 10 % от построенного СПГ флота в мире) использует отпарной газ, получаемый при естественном испарении груза. При этом стоит заметить, что физико-химические свойства груза меняются при перевозке груза, так как СПГ многокомпонентный груз и самые холодные компоненты испаряются в первую очередь, что безусловно сказывается и на цене груза.

Особенностями является разное трактование пунктов (clause) договора и наличие неопределенностей в трактовках этих пунктов, что делает рейсовые (спотовые) контракты по этим проформам невозможными. При отклонениях от условий транспортировки СПГ в связи с конфликтами интересов по разным причинам, стороны договора вынуждены вести судебные тяжбы по нахождению взаимопонимания трактовки чартер-партий весьма длительное время и не всегда различные контрагенты соглашаются на одинаковые трактовки одних и тех же формулировок, что приводит к разным коммерческим отношениям с разными контрагентами по одинаковым проформам. Пример такой проблемы, существующий на рынке перевозок СПГ, будет рассмотрен ниже.

Любой конфликт интересов сторон, разногласия или претензии в арбитраж, вытекающие из контракта, влекут дополнительные расходы, как для судовладельца, так и для фрахтователей, а также их разрешение значительно усложнено в перевозках СПГ. Частично это может быть связано с тенденцией к краткосрочным спотовым чартерам, которые могут не создавать таких же коммерческих отношений между владельцем и фрахтователем, как долгосрочные чартеры. Другой причиной может быть постоянно растущая сложность устройства судов, работающих на СПГ, и технологий, что неизбежно означает, что существует больше возможностей для того, чтобы что-то пошло не так. Высокие арендные ставки, связанные с судами для перевозки СПГ, означают, что даже короткие задержки потенциально обходятся дорого. Вместе это создаёт прецеденты для длительных судебных тяжб.

Для погрузки грузовых танков газозовов требуется дополнительно охлаждать танки для приемлемой температуры, примерно до -130 °С. Охлаждение грузовых танков газозовов перед загрузкой увеличивает время, необходимое для загрузки. При долгосрочном фрахтовании судна судовладельцам, как правило, легче поддерживать танки захлаженными и гото-



выми к погрузке с минимальными задержками, поскольку они будут иметь больше информации о маршруте судна, а, следовательно, договариваться с фрахтователями о количестве груза в танках, необходимого для внутрисудового захлаживания танков для выдерживания температур, устанавливаемых терминалом погрузки.

Напротив, в случае судов, зафрахтованных для одного рейса (работающих на спотовом рынке), судовладельцы не будут иметь такой информации о расписании судна и, следовательно, не смогут распланировать количества груза, необходимого для захлаживания, что может создать риски простоя судна перед погрузкой или даже канцелинг судна. Одним из решений этой проблемы, является клауз 5(a) чартер партии LNGVOY, который заключается в обеспечении гибкости выбора путем предоставления одного из трех вариантов грузовых танков по прибытии в порт погрузки. В соответствии с пунктом 5(a) предусматриваются, что танки (i) охлаждены и готовы к приему груза; (ii) нагретым либо парами испаряющегося газа, либо (iii) инертным газом. Таким образом, фрахтователи и судовладельцы заранее договариваются какими должны быть танки на приход судна к погрузке и бремя планирования переключается на судовладельца, при выборе пункта (i) или на фрахтователя при выборе пунктов (ii) или (iii).

Как было описано выше, морская транспортировка природного газа экономически выгодна только в сжиженном виде (т. е. СПГ), поскольку он занимает в 600 раз меньший объем, чем в газообразном состоянии. Для этого суда СПГ должны поддерживать температуру груза, равную или ниже температуры кипения природного газа (примерно  $-162^{\circ}\text{C}$ ). Т. к. груз испаряется по ходу движения судна, то встает вопрос, что делать с испаряющимся грузом. Возможны следующие сценарии:

- 1) использование газа в качестве топлива;
- 2) повторное сжижение груза;
- 3) сжигание в установке для утилизации отпарного газа.

В настоящее время главной альтернативой трубопроводному природному газу в мире становится инновационный СПГ, который является:

- экологичным, т. к. при сгорании не выделяется парникового газа, негативно влияющего на озоновый слой Земли, соответственно при использовании будут сокращаться вредные выбросы в атмосферу, что может позволить выиграть время в создании судов на водородном топливе;
- более дешевым, чем традиционные виды топлива;
- способным реализовываться в больших объемах;
- удобным с точки зрения более длительного срока использования оборудования для СПГ (в сравнении с использованием иного, которое может сильно изнашивать агрегаты);
- позволяющим не привязываться к конкретному покупателю (возможность более гибко выходить на другой рынок).

Поскольку при транспортировке процент испарения груза из танков в относительных величинах постоянен, то возможно прогнозировать, какой объем от испарений будет эффективно использован для движения судна, а какой сожжён в установке для утилизации. Существует так называемый обратный баланс, т. к. процент испарения груза или Boil Off Rate per day (BORpd) постоянен, а объем танков ежедневно уменьшается, то на балластных переходах, при небольших объемах груза в танке, возможна большая погрешность при передаче судна фрахтователю или субфрахтователю, если произошла задержка судна по вине судовладельца и было испарено груза больше, чем ожидалось.

В соответствии с ShellLNGTime1 общая позиция касательно задержек состоит в том, что дополнительное испарение груза, вызванное задержкой, которая не была вызвана нарушением условий чартер-партии судовладельцем или событием, произошедшим по его вине, будет за счет фрахтователей. Таким образом, судовладельцы могут нести ответственность, если задержка не является результатом их нарушения, например, в случае потери времени из-за события, связанного с выходом из аренды (off-hire) (пункт 22 (g)).

Согласно LNGVoy, владельцы гарантируют, что ежедневное естественное испарение не будет превышать определенную норму, которая указана в чартере на момент его заключения (см. пункт 23(a)). Любое испарение груза до процента, определенного в чартере, может использоваться судовладельцем без дополнительных обременений для него. Но возникает вопрос, как компенсировать фрахтователям излишний расход, если, например, из-за задержки в морском переходе рейс занял на день больше, чем должен был, и перерасход произошел в течение этого дополнительного дня, даже если дневная норма не была превышена.

Эта проблема решается путем включения ограничения на общее количество испарения, которое может произойти во время морского перехода. Это указано в пункте 27 чартер-партии LNGVoy и определяется как «верхняя граница испарения», которая будет рассчитана заранее и зависит от таких факторов, как продолжительность рейса, технические характеристики судна, требования фрахтователей относительно того, как быстро должно двигаться судно, и имеют ли владельцы право «форсировать выкипание» (forcing), чтобы ускорить рейс. В случае превышения предела кипения LNGVoy придерживается строгого подхода в пользу фрахтователей, поскольку судовладельцы будут нести ответственность за любое превышение предела выкипания, независимо от причины его дополнительного наступления.

Таким образом, проблемы подсчета груза, необходимого для испарения для совершения рейса, состояние танков являются текущими проблемами, распространенными на спотовых рейсах СПГ танкеров-газовозов. Проформы используемых чартеров не решают существующие проблемы, именно поэтому рекомендовано использовать LNGVoy для заключения спотовых или рейсовых чартер-партий.

Описанные в перечисленных выше работах, учеными продемонстрированы результаты эмпирических расчетов себестоимости транспортировки газа на ключевые существующие и перспективные рынки его сбыта (в Германию, Италию, Турцию, Китай, страны Латинской Америки и др.) по трубопроводам и морским путем в виде СПГ подтверждают экономическое преимущество последней. Эффективность замены сжиженным природным газом трубопроводного на мировых рынках европейских стран и мероприятий по увеличению экспорта СПГ в страны АТР позволят Российской Федерации не только укрепить текущую позицию, но и повысить собственную долю в мировом импорте СПГ, а также выйти на новые рынки сбыта природного газа и диверсифицировать направления его транспортировки.

В результате оценки российских перспектив на глобальном рынке СПГ в настоящее время наблюдается достаточно высокий потенциал для поставок в страны ЕС значительных объемов российского сжиженного природного газа по привлекательным для покупателей ценам. В разгар охватившего Европу в 2021 г. энергокризиса, в европейские страны из России могли поступить значительные объемы СПГ, перепроданные такими крупными зарубежными участниками рынка, как TotalEnergies, Shell, Gunvor, Gas Natural Fenosa и др., а также структурами российского Газпрома.

Выявлено, что в современных условиях при осуществлении морских грузоперевозок не существует однообразного правового режима. Это происходит по причине действия двух международных Конвенций, регулирующих отношения сторон в данном процессе перевозки. Согласно одной из них в более выгодном правовом положении находится страна-перевозчик, согласно другой – страна-грузоотправитель. По итогам исследования выявлена и обоснована необходимость унификации международных правил перевозок и создания единого международного документа для пользования всеми участниками процесса. Установлено, что текущий правовой режим, регулирующий морскую международную перевозку грузов, не единообразен и в нем недостаточно учитывается современная практика грузоперевозки морским путем и использования электронных транспортных документов, об этом также упомянуто в работе [Бажанов, 2017]. Принятие актуальных единообразных правил для регулирования морских перевозок будет способствовать наступлению правовой определенности, а также повысит эффективность международной перевозки грузов и будет содействовать торговле и экономическому развитию как на национальном, так и на международном уровнях.



Стоит отметить, что на пути повышения позиций конкурентоспособности России в качестве экспортера СПГ необходимо осуществить ряд важнейших мероприятий:

- корректировка уже запущенных проектов по производству и транспортировке СПГ, а также продолжение реализации осуществляемых эффективных проектов, запуск новых проектов, расширяющих возможности России для укрепления позиций на мировом рынке СПГ;
- сохранение текущих мер государственной поддержки и увеличение новых в отношении компаний, которые выполняют разработку новых отечественных технологий сжижения газа и развития транспортировки СПГ;
- совершенствование инфраструктуры для сжижения и перевозки СПГ за счет строительства заправочных станций в портах, локализации на отечественных судовых поверхностях строительства газозовозов для транспортировки СПГ, создания дополнительных камер хранения газа на самом судне и использования там установок повторного сжижения метана;
- проработка вопроса об уровне требуемого ледового усиления для танков-газовозов, т. к. снизив ледовый класс судов, появляется возможность снижения ставки фрахта газозовозов.

Реализация этих мероприятий будет способствовать сокращению себестоимости морской транспортировки СПГ и значительному повышению конкурентоспособности российского СПГ на мировом и региональных рынках природного газа.

### Заключение

Цель работы достигнута, выполненные задачи исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Рассмотрев общие тенденции мирового рынка СПГ, сделан вывод о большом потенциале этого направления для России путем увеличения производства СПГ с последующей его транспортировкой морским путем, преодолевая усилия ЕС по сокращению зависимости от природного газа, транспортирующегося из России.
2. В результате анализа расчетов себестоимости транспортировки газа разными способами подтверждены экономические преимущества морской транспортировки СПГ на ключевые существующие и перспективные рынки его сбыта. Обоснована необходимость рациональной замены трубопроводного газа сжиженным на рынках европейских стран и увеличения экспорта СПГ из России в страны АТР.
3. Установлено, что морская транспортировка природного газа экономически выгодна только в сжиженном виде (т. е. СПГ), поскольку он занимает в 600 раз меньший объем, чем в газообразном состоянии. Для этого суда СПГ должны поддерживать температуру груза, равную или ниже температуры кипения природного газа (примерно  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ .). Т. к. груз испаряется по ходу движения судна, то встает вопрос, что делать с испаряющимся грузом.
4. Выявлены возможные варианты решения проблемы испарения СПГ: использовать газ в качестве топлива, повторно сжигать груз или сжигать в установке для утилизации отпарного газа. Поскольку процент испарения груза из танков в относительных величинах постоянен, то возможно прогнозировать, какой объем от испарений будет эффективно использован для движения судна, а какой сожжён в установке для утилизации. Также важно отметить обоснованную экономическую целесообразность развития возможностей использования СПГ в качестве альтернативного топлива.
5. Обозначена тенденция использования краткосрочных спотовых чартеров, которые могут не создавать таких же коммерческих отношений между владельцем и фрахтователем, как долгосрочные чартеры. Определено, что из-за специфики перевозок СПГ в их сопровождении преобладают тайм-чартерные отношения между судовладельцем и фрахтователем, однако сложность соблюдения условий перевозки сохраняется, что делает рейсовые (спотовые) контракты на перевозку СПГ по этим проформам недостаточно эффективными. В результате выявлена и обоснована необходимость использования чартер-партии LNGVoу для заключения таких чартер-партий, что обеспечит повышение эффективности экономико-правового регулирования морских перевозок СПГ.

Настоящее исследование может являться заделом для последующих, затрагивающих вопросы развития процессов международной транспортировки СПГ морским путем, которые должны быть связаны не только с внедрением новых технологий морских перевозок, контейнеризацией процесса перевозки, но и с совершенствованием правовой базы в сфере морской транспортировки СПГ.

### Список источников

- Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 26.01.1996 № 14-ФЗ (ред. от 01.07.2021, с изм. от 08.07.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2022): ст.787. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_9027](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_9027) (дата обращения: 27.02.2022).
- Доля России на мировом рынке СПГ может вырасти до 20 % // Ведомости: раздел «Экономика», 07.06.2021. URL: <https://www.vedomosti.ru/economics/news/2021/06/07/873206-dolya-rossii-na-mirovom-rinke-spg-mozhet-virasti-do-20> (дата обращения: 27.02.2022).
- Импорт СПГ в Европу побил исторический рекорд // Коммерсант: раздел «Газовый рынок», автор Ю. Барсуков, 31.01.2022. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5192755> (дата обращения: 27.02.2022).
- Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации от 07.03.2001 № 24-ФЗ (ред. от 14.03.2022). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_30650](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_30650) (дата обращения: 27.02.2022).
- Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации от 30.04.1999 № 81-ФЗ (ред. от 30.12.2021). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_22916](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22916) (дата обращения: 27.02.2022).
- Российский экспорт газа обвалился в два раза. Трубопроводные проекты теряют актуальность // Независимая газета: раздел «Экономика», автор А. Башкатова, 12.10.2020. URL: [https://www.ng.ru/economics/2020-10-12/1\\_7987\\_gas.html](https://www.ng.ru/economics/2020-10-12/1_7987_gas.html) (дата обращения: 04.05.2022).
- Россия может компенсировать Европе нехватку трубопроводного газа // Агентство экономической информации «ПРАЙМ»: раздел «Мировая экономика», автор О. Кривошапов, 31.01.2022. URL: <https://1prime.ru/gas/20220126/835896630.html> (дата обращения: 27.02.2022).
- У российского СПГ есть свои конкурентные преимущества // РБК+: раздел «Топливо-энергетический комплекс» от 27.03.2020. URL: <https://plus.rbc.ru/news/5e7d68097a8aa9fc63618186> (дата обращения: 28.02.2022).
- Шутенко В.В. 2017. Коммерческая работа на морском транспорте: учеб. для вузов. Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 300 с.
- BP. Statistical Review of World Energy 2019. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf> (дата обращения: 04.05.2022).
- Commercial management in shipping // Nautical Institute, London, Don L. Dykstra, 2005. URL: <https://www.nautinst.org/resource-library.html> (дата обращения: 20.02.2022).
- Nikki Chu. LNG chartering – amendments to period time charterparties for a single voyage? \\\ Stephenson Harwood\News – 15/03/2022. URL: <https://www.shlegal.com/news/lng-chartering-amendments-to-period-time-charterparties-for-a-single-voyage> (дата обращения: 10.04.2022).
- Shell: LNG Outlook 2019. Shell, 2019. URL: <https://nangs.org/analytics/shell-lng-outlook-eng-pdf> (дата обращения: 27.02.2022).

### Список литературы

- Агарков С.А., Богачев В.Ф., Веретенников Н.П. и др. 2019. Глобальные тенденции освоения энергетических ресурсов Российской Арктики. Кольский научный центр Российской академии наук, 170 с. DOI 10.25702/KSC.978.5.91137.397.9-1.
- Бажанов С.В. 2017. Практика применения международных правил о морских перевозках грузов и проблемы их унификации. Проблемы современной науки и образования, 26(108): 74–79.
- Валентинова П.С., Воротников А.М. 2021. Проблемы и перспективы «зелёного» развития Северного морского пути. Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения, 1: 4–10.
- Иванова М.В., Козьменко А.С. 2021. Пространственная организация морских коммуникаций Российской Арктики. Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз, 14 (2): 92–104.



- Кирнос Д.А., Русинов И.А. 2019. Влияние ограничений серы на рынок морских перевозок. Транспортное дело России, 1: 180–182.
- Козьменко С.Ю., Маслобоев В.А., Матвишин Д.А. 2018. Обоснование экономического преимущества морской транспортировки арктического природного газа в виде СПГ. Записки Горного института, 233: 554–560. DOI 10.31897/PMI.2018.5.554.
- Кривцова Ю.А. 2019. Актуальные проблемы регулирования международных морских перевозок грузов. Вестник науки, 2, 6(15): 34–40.
- Пономаренко М.А., Русинов И.А. 2017. Перевозки химических наливных грузов в танк-контейнерах: проблемы безопасности и особенности их транспортировки. Транспортное дело России, 5: 156–160.
- Филимонова И.В., Комарова А.В., Казаненков В.А., Немов В.Ю. 2021. Особая роль Арктики. Развитие Арктических регионов России с учетом влияния нефтегазового комплекса. Нефтегазовая вертикаль, 3-4(482): 21–32.
- Хорошев В.Г., Попов Л.Н., Гатин Р.И. 2019. Перспективы использования альтернативных видов топлива в судовых энергетических установках. Труды Крыловского государственного научного центра, 4(390). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-alternativnyh-vidov-topliva-v-sudovyh-energeticheskikh-ustanovkakh> (дата обращения: 11.05.2022).
- Björn Gunnarsson. 2021. Recent ship traffic and developing shipping trends on the Northern Sea Route - Policy implications for future arctic shipping. Marine Policy, 124, 104369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104369>
- Cherepovitsyn A., Evseeva O. 2021. Parameters of Sustainable Development: Case of Arctic Liquefied Natural Gas Projects, Resources, 1(10). <https://doi.org/10.3390/resources10010001>.
- Thi Bich Van Pham, Aravopoulos Miltiadis. 2019. Feasibility Study on Commercial Shipping in the Northern Sea Route: Master's Thesis in the Master's Programme Maritime Management. Report no 75, Gothenburg, Chalmers University of Technology, 123 p.
- Wang H., Zhang Y, Meng Q. 2018. How Will the Opening of the Northern Sea Route Influence the Suez Canal Route? An Empirical Analysis with Discrete Choice Models. Transportation Research, Part A, 107: 75–89.

## References

- Agarkov S.A., Bogachev V.F., Veretennikov N.P. et al. 2019. Global trends in the development of energy resources in the Russian Arctic. Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 170 p. DOI 10.25702/KSC.978.5.91137.397.9-1.
- Bazhanov S.V. 2017. Practice of application of international rules on the carriage of goods by sea and the problems of their unification. Problems of modern science and education, 26(108): 74–79.
- Valentinova P.S., Vorotnikov A.M. 2021. Problems and prospects of "green" development of the Northern Sea Route. Arctic 2035: topical issues, problems, solutions, 1: 4–10.
- Ivanova M.V., Kozmenko A.S. 2021. Spatial organization of marine communications of the Russian Arctic. Economic and social changes: facts, trends, forecast, 14(2): 92–104.
- Kirnosov D.A., Rusinov I.A. 2019. Impact of sulfur restrictions on the maritime transportation market. Transport business of Russia, 1: 180–182.
- Kozmenko S.Y., Masloboev V.A., Matviyoshin D.A. 2018. Substantiation of economic advantage of sea transportation of Arctic natural gas in the form of LNG. Notes of the Mining Institute, Vol. 233: 554-560. DOI 10.31897/PMI.2018.5.554.
- Krivtsova Yu.A. 2019. Topical problems of regulation of international maritime transport of goods. Bulletin of Science, 2, 6(15): 34–40.
- Ponomarenko M.A., Rusinov I.A. 2017. Transportation of chemical bulk cargoes in tank containers: safety problems and peculiarities of their transportation. Transportnoe delo Rossii, 5: 156–160.
- Filimonova I.V., Komarova A.V., Kазаненков V.A., Немов V.Y. 2021. The special role of the Arctic. Development of the Arctic regions of Russia taking into account the influence of the oil and gas complex. Oil and Gas Vertical, 3-4 (482): 21–32.
- Khoroshev V.G., Popov L.N., Gatin R.I. 2019. Prospects for the use of alternative fuels in ship power plants. Proceedings of the Krylov State Scientific Center, 4(390). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-ispolzovaniya-alternativnyh-vidov-topliva-v-sudovyh-energeticheskikh-ustanovkakh> (date of reference: 11.05.2022).

- Björn Gunnarsson. 2021. Recent ship traffic and developing shipping trends on the Northern Sea Route - Policy implications for future arctic shipping. *Marine Policy*, 124, article 104369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104369>
- Cherepovitsyn A., Evseeva O. 2021. Parameters of Sustainable Development: Case of Arctic Liquefied Natural Gas Projects, *Resources*, 1(10). <https://doi.org/10.3390/resources10010001>.
- Thi Bich Van Pham, Aravopoulos Miltiadis. 2019. Feasibility Study on Commercial Shipping in the Northern Sea Route: Master's Thesis in the Master's Program Maritime Management. Report no 75, Gothenburg, Chalmers University of Technology, 123 p.
- Wang H., Zhang Y, Meng Q. 2018. How Will the Opening of the Northern Sea Route Influence the Suez Canal Route? An Empirical Analysis with Discrete Choice Models. *Transportation Research, Part A*, 107: 75–89.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Русинов Игорь Александрович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой коммерческой эксплуатации водного транспорта, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург, Россия

**Igor A. Rusinov**, Dr. of Technical science, Professor, Head of the Department of Commercial Operation of Water Transport, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russian Federation

**Чемерис Ольга Сергеевна**, кандидат экономических наук, доцент Высшей школы бизнес-инжиниринга, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия; доцент кафедры коммерческой эксплуатации водного транспорта, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург, Россия

**Olga S. Chemeris**, Ph.D. in Economics, Associate Professor at the Graduate School of Business Engineering, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Commercial Operation of Water Transport, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russian Federation

**Алексеев Никита Валерьевич**, аспирант кафедры коммерческой эксплуатации водного транспорта, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург, Россия; сотрудник ООО «СКФ Менеджмент Сервисиз (Санкт-Петербург)», г. Санкт-Петербург, Россия

**Nikita V. Alekseenko**, Postgraduate student of the Department of Commercial Operation of Water Transport, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russian Federation; employee of SCF Management Services (St. Petersburg) Ltd, St. Petersburg, Russian Federation

**Уами Абдельжалил**, аспирант кафедры коммерческой эксплуатации водного транспорта, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург, Россия

**Abdeljalil Ouami**, Postgraduate student of the Department of Commercial Operation of Water Transport, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russian Federation



УДК 330.541

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-308-326

## Проблема идентификации продуктовых границ отраслевого рынка промышленной продукции в ОКВЭД: эмпирический подход

**Ярошевич Н.Ю., Мигунов В.В.**

ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»  
620144, РФ, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45  
E-mail: iarnat@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена идентификации продуктовых границ отраслевого рынка промышленной продукции в рамках классификатора ОКВЭД. Методологической базой исследования стали положения теории отраслевого рынка в части определения понятия «отраслевой рынок» и нормативного подхода в части сравнения методов определения его продуктовых границ. Обоснована актуальность разработки методического инструментария определения продуктовых границ отраслевого рынка в контексте классификатора ОКВЭД. Предложенный метод представляет собой реализацию трех последовательных шагов, основанных на простых сопоставлениях совокупной валовой выручки предприятий, формирующих соответствующий уровень (подкласс, группу) классификатора. Апробация методики проводится на примере 10 кодов ОКВЭД группы С «Обрабатывающие производства». Результаты эмпирической части исследования позволили достаточно точно определить продуктовые границы 19 отраслевых рынков промышленной продукции. Полученные продуктовые границы соответствуют особенностям технологической дифференциации и номенклатуры выпускаемой продукции в рамках рассматриваемых кодов. Использование методики позволяет быстро, недорого и в большинстве случаев однозначно определить продуктовые границы отраслевых рынков в рамках классификатора ОКВЭД. Предложенный подход является универсальным, может быть использован для определения продуктовых границ отраслевого рынка и в рамках других классов (подклассов и групп) классификатора видов деятельности.

**Ключевые слова:** отраслевой рынок, ОКВЭД, эмпирическое исследование, промышленная продукция, продуктовые границы

**Для цитирования:** Ярошевич Н.Ю., Мигунов В.В. 2022. Проблема идентификации продуктовых границ отраслевого рынка промышленной продукции в ОКВЭД: эмпирический подход. Экономика. Информатика, 49(2): 308–326. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-308-326

## The Problem of Identifying the Product Boundaries of the Industrial Sector Market in OKVED: an Empirical Approach

**Natalya Yu. Yaroshevich, Vasily B. Migunov**

Ural State University of Economics  
62/45 8 Marta/Narodnoy Voli St., Yekaterinburg, Russia, 620144  
E-mail: iarnat@mail.ru

**Abstract.** The article deals with the identification of the product boundaries of the industrial market within the OKVED classifier. The methodological basis of the study was the provisions of sectoral market theory in terms of the definition of the sectoral market and the normative approach in terms of comparing methods for defining its product boundaries. The relevance of developing methodological tools for determining the product boundaries of the sectoral market in the context of the OKVED classifier has been substantiated. The proposed method is an implementation of three sequential steps basic on simple comparisons of the total gross revenues of the enterprises forming the appropriate level (subclass, group) of the classifier. The methodology is being tested with 10 OKVED Group C codes "Manufacturing" as an example. The results of the empirical part of the study enabled the product boundaries of the 19 industrial sector markets to be defined quite precisely. The resulting product boundaries correspond to the features of technological differentiation

and product mix within the codes in question. The use of the methodology allows the product boundaries of industry markets to be defined quickly, inexpensively and, in most cases, unambiguously within the OKVED classifier. The proposed approach is universal and can also be used to define the product boundaries of the sectoral market within other classes (subclasses and groups) of the activity classifier.

**Keywords:** industry market, OECD, empirical study, industrial products, product boundaries

**For citation:** Yaroshevich N.Yu., Migunov V.V. 2022. The Problem of Identifying the Product Boundaries of the Industrial Sector Market in OKVED: an Empirical Approach. Economics. Information technologies, 49(2): 308–326 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-308-326

---

## Введение

В современной теории и практике отраслевой организации не утихают споры определения семантических границ и сочетаний понятий «рынок» и «отрасль» [Slater, Olson, 2002; Brooks, 1995; Bustamante, Donangelo, 2017]. Данная исследовательская проблема возникает достаточно часто в практике определения продуктовых границ отраслевых рынков в эмпирических исследованиях, правоприменении антимонопольного законодательства, идентификации в ОКВЭД. Особая актуальность решения данной проблемы проявляется на отраслевых рынках промышленной продукции, где продуктом может выступать не только конкретное изделие, но и комплекс сопровождающих его работ и услуг, а сама продукция может представлять собой широкий ассортимент узкоспециализированных деталей или наоборот, большое сложное техническое изделие. При этом существующая теоретическая база и практика правоприменения не имеет единого методического подхода, что приводит исследователей и практиков к спорам, неоднозначным трактовкам, сложностям правоприменения.

Определение продуктовых границ является актуальной исследовательской задачей, к ней обращались и классики [Mason, 1939; Abell, 1980; Robinson, 1933], и наши современники [Розанова, 2021; Авдашева, Шаститко и др., 2018; Шаститко, Паршина, 2016; Dugal, Ahmadi-Esfahani, 2002; Boyd, 2014; Dobbs, 2002; Ahmad, Nabibah, 2021].

Актуальность решения задачи определения продуктовых границ отраслевого рынка, сочетания в нем отрасли и рынка, связана с расчетом ключевых показателей концентрации и монопольной власти, для целей применения антимонопольного законодательства. Так, при слишком узком, или наоборот, слишком широком определении продуктовых границ промышленного рынка могут возникать ошибки в определении уровня монополизации отрасли, что в свою очередь, приведет к искажению применяемых механизмов государственного регулирования, выбора приоритетов отраслевой политики. Особенно остро эта проблема возникает в рамках Общероссийского классификатора видов деятельности (ОКВЭД) – на каком уровне (подкласс, группа, подгруппа) формируется отраслевой рынок? Данный вопрос до сих пор остается открытым.

Целью данной статьи является разработка методического подхода и его апробация в рамках эмпирического исследования продуктовых границ отраслевых рынков промышленной продукции в структуре классификатора ОКВЭД.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- представить теоретический и нормативный подход к определению продуктовых границ отраслевого рынка;
- обозначить проблему идентификации продуктовых границ отраслевого рынка в классификаторе ОКВЭД;
- предложить методику определения продуктовых границ отраслевого рынка в ОКВЭД;
- провести апробацию предложенной методики и эмпирическое исследование продуктовых границ отраслевых рынков в рамках ОКВЭД.



## Теоретические и нормативные подходы к определению продуктовых границ отраслевого рынка

Определение продуктовых границ отраслевого рынка находится в плоскости двух исследовательских проблем. Первая кроется в определении самого понятия «отраслевой рынок» и его идентификации, вторая – в поиске соответствующего подхода в определении продуктовых границ.

Основная теоретическая проблема определения границ отраслевого рынка кроется в двойственной семантике данного понятия: сочетании отрасли и рынка.

Научная литература богата примерами постановки и попыток решения данной исследовательской проблемы [Nightingale, 2003; Li, 2019; Орехова С.В., Ярошевич, 2017]. На сегодняшний день не сложилось единообразия в определении отраслевого рынка.

Так, в классической работе Э. Мейсон писал: «Когда мы используем термин «рынок», – мы подразумеваем маршаллианскую промышленность, т. е. ценовую отрасль, приблизительно удовлетворяющую продуктовым и пространственным требованиям» [Mason, 1939, с. 64].

Большинство исследователей опираются на соединение двух семантических определений отрасли и рынка. Так, Л.В. Рой и В.П. Третьяк [Рой, Третьяк 2008. с. 29] определяют отраслевой рынок в контексте определения отрасли: «совокупность фирм, производящих продукты на базе схожих ресурсов и аналогичных технологий». И.С. Штапова рассматривает отраслевой рынок как группу товарных рынков, объединенных классом производителя (согласно ОКВЭД в России или Северо-Американской системе отраслевой классификации в Америке) [Штапова, 2009]. Именно этот подход используется большинством российских специалистов, практиков. Более полное определение отраслевого рынка содержится в работе Чугуева А.М. Он делает акцент на системном характере существования отраслевого рынка и определяет его как «сложившуюся взаимосвязь разных экономических агентов, функционирующих как единый механизм и характеризующихся определенными показателями развития» [Чугуев А.М., 2012 с.12].

Маркетинговый словарь<sup>1</sup> так же определяет отраслевой рынок, ориентируясь на отраслевую принадлежность производителей. «Отраслевой рынок (также называемый рынком производителей или бизнес-рынком) – это совокупность всех лиц и организаций, которые приобретают товары и услуги, которые участвуют в производстве других продуктов или услуг, которые продаются, сдаются в аренду или поставляются другим лицам».

Вся полнота содержания термина «отраслевой рынок» раскрывается в теории отраслевой организации, которая получила свое развитие в работах классиков и эмпирических исследованиях современников. Анализу отраслевых рынков посвящены работы F. M. Sherer, D. Ross [Sherer F. M., Ross D., 1991], М. Портера [Портер, 2005], Г. Минцберга [Минцберг, 2019], конкретные кейсы анализа отраслевых рынков представлены в работах [Gual, 2003; Gaynor, Kleiner, Vogt, 2013; Kim, Jung, Yoo, 2018; Howard, Howard, Howard, 2020]. Среди российских авторов можно выделить работы [Розанова, 2021; Алейникова и др., 2011; Орехова, Кислицын, 2019; Авдашева, Юсупова, 2021; Pashkov, 2021], где в большинстве случаев отраслевой рынок трактуется как совокупность предприятий, объединенных единством технологической (производственной) функции.

Таким образом, определение отраслевого рынка в границах кодов ОКВЭД является возможным и теоретически обоснованным.

Далее обратимся непосредственно к исследованию существующих подходов в определении продуктовых границ отраслевого рынка, регламентированных в Приказе ФАС России от 28.04.2010 N 220<sup>2</sup>. Их сравнительный анализ представлен в таблице 1.

Таким образом, принятые нормативные методы сталкиваются со следующим рядом проблем: необходимостью обосновывать выбор товаров заменителей, определением временных

<sup>1</sup> [https://www.monash.edu/business/marketing/marketing-dictionary/i/industrial-market#:~:text=The%20industrial%20market%20\(also%20called,rented%2C%20or%20supplied%20to%20others.](https://www.monash.edu/business/marketing/marketing-dictionary/i/industrial-market#:~:text=The%20industrial%20market%20(also%20called,rented%2C%20or%20supplied%20to%20others.)

<sup>2</sup> [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_103446/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_103446/)

границ проведения исследования, невозможность учесть множество прямых и косвенных факторов влияния на продуктовые границы, высокими затратами на проведение соответствующих исследований-экспертиз<sup>1</sup>.

Таблица 1  
Table 1

Сравнение методов определения продуктовых границ отраслевого рынка  
Comparison of methods for defining the product boundaries of a sectoral market

Название метода	Форма анализа	Преимущества	Недостатки
Определение взаимозаменяемых товаров <sup>2</sup>	Тест	Присутствие нормативной базы	Отсутствие обоснования и слабая доказательность уровня заменяемости.
Анализ ценообразования и динамики цен	Сравнительный анализ	Фактологичность	Отсутствуют расчет издержек переключения, Не учитывается фактор времени и сезонности проса
Расчет перекрестной эластичности	Эмпирический анализ	Фактологичность	Не учитываются особенности спроса потребителей разных целевых групп (оптовые/розничные), и другие факторы.
Тест гипотетического монополиста	Опрос-тест-анализ	Позволяет эмпирически определить пары товаров заменителей.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Проблема формирования достоверности и репрезентативности выборки.</li><li>• Не определен временной период проведения теста (гипотетического повышения цен).</li><li>• Не оценивается рост монопольной прибыли</li></ul>

Особенно эта проблема проявляется в сегменте промышленных рынков, где степень заменяемости отягчается множеством специфических технических характеристик продуктов, их комплексностью (когда продажа продукта сопровождается комплексом услуг). Возникает актуальная проблема поиска альтернативного, простого подхода в определении продуктовых границ отраслевого рынка, при этом учитывающего ограничивающий фактор доступа к достоверной информации о рынке в рамках существующего классификатора ОКВЭД и систем статистического учета.

#### **ОКВЭД: проблема идентификации продуктовых границ отраслевого рынка**

Практика идентификации отраслевого рынка в сопоставлении с кодом ОКВЭД существует в эмпирических исследованиях, но остается открытым вопрос: на каком уровне вида деятельности (6 цифр), группы (4) или подгруппы (5 цифр), подкласса (3 цифры) он формируется.

Для этого необходимо разобраться с определениями и выявить значимые критерии, по которым виды деятельности делятся на группы и подгруппы в классификаторе.

Во введении к классификатору сказано: «объектами классификации в ОКВЭД являются виды экономической деятельности. Экономическая деятельность имеет место тогда, когда ресурсы (оборудование, рабочая сила, технологии, сырье, материалы, энергия, информационные ресурсы) объединяются в производственный процесс, имеющий целью произ-

<sup>1</sup> Методическая сложность, многофакторность и затратность эмпирического исследования, отсутствие четких указаний в нормативных документах существенно ограничивают практическое применение в арбитражном делопроизводстве.

<sup>2</sup> Порядок проведения анализа состояния конкуренции на товарном рынке. Приложение к приказу ФАС России от 28.04.2010г. № 220



водство продукции (предоставление услуг). Экономическая деятельность характеризуется затратами на производство продукции (товаров или услуг), процессом производства и выпуском продукции (предоставлением услуг)<sup>1</sup>. То есть в данном случае речь идет об отрасли в классическом ее понимании.

При этом соотношение подкласса, группы, подгруппы и вида деятельности представляют собой именно технологическую дифференциацию, где в качестве критериев используются процесс производства, используемое сырье и материалы, а на более низших уровнях – конкретная номенклатура выпускаемой продукции.

Определение продуктовых границ отраслевого рынка сталкивается с решением двух вопросов: на каком уровне кода ОКВЭД должен быть выбран отраслевой рынок, и в каком случае это будет самостоятельный рынок, а в каком – случай технологической дифференциации?

### Методика определения продуктовых границ отраслевого рынка в ОКВЭД

Предлагаемый нами методический подход определения продуктовых границ строится на оценке структуры распределения выручки предприятий рассматриваемого кода ОКВЭД по кодам более низкого уровня (группы подгруппы, вида деятельности) и учитывает следующие теоретические предпосылки, сформированные базисом определения «отраслевого рынка» и иерархическим принципом построения ОКВЭД:

1. Отрасль является достаточно устойчивой структурой. Структура совокупной выручки предприятий в рамках соответствующего подкласса, группы или подгруппы ОКВЭД в краткосрочном периоде остается неизменной, а в долгосрочном меняется незначительно;

2. Более высокий уровень кода ОКВЭД (группа, например) включает в себя более широкую номенклатуру выпускаемой продукции, объединяя в себе номенклатуру кодов более низкого уровня (подгрупп). А крупное предприятие с большей вероятностью будет работать на более высоком уровне кода ОКВЭД-2 и выпускать более широкую номенклатуру продукции;

3. Предприятия производят продукцию в рамках номенклатуры, соответствующей выбранному коду ОКВЭД, и могут иметь определенную технологическую, но однозначно родственную, дифференциацию.

4. В качестве показателя «размера» отраслевого рынка используется выручка, как максимально достоверный и универсальный показатель, позволяющий оценивать и сравнивать объемы выпуска предприятий с разными кодами ОКВЭД и пересекающимися номенклатурными позициями.

Методику определения продуктовых границ отраслевого рынка в рамках ОКВЭД представим как ряд последовательных этапов.

*На первом этапе* необходимо провести предварительный анализ структуры выручки по видам деятельности в рамках подкласса группы, подгруппы. Данный анализ позволяет эмпирическим путем в рамках конкретного подкласса (группы) ОКВЭД выявить присутствие отраслевого рынка и его продуктовые границы. Продуктовые границы отраслевого рынка проходят на уровне группы (подгруппы или вида деятельности), занимающей большую долю в выручке рассматриваемого подкласса (группы) в ОКВЭД.

*На втором этапе* полученные результаты проверяются с помощью расчета взвешенной выручки. Формула имеет следующий вид:

$$V'_j = \sum V_i * q_i \quad (1)$$

где  $V'_j$  – взвешенная выручка соответствующего вида деятельности (группы, подгруппы),  $V_i$  – выручка предприятия, работающего в рамках соответствующего кода ОКВЭД,  $q_i$  – ее рыночная доля.

<sup>1</sup> «ОК 029-2014 (КДЕС Ред. 2). Общероссийский классификатор видов экономической деятельности» (утв. Приказом Росстандарта от 31.01.2014 N 14-ст) (ред. от 07.12.2021) [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_163320/fe0fcde01af39800bd620af2a8e83bd5634875f4/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163320/fe0fcde01af39800bd620af2a8e83bd5634875f4/)

Расчет взвешенной выручки позволяет «ярче» показать структуру соответствующей группы ОКВЭД и еще раз подтвердить (или поставить под сомнение) полученные эмпирические результаты предварительного анализа первого этапа.

На третьем этапе для повышения уровня достоверности представленной методики предлагается апробировать ее на глубину порядка 20 лет с шагом в пять лет.

Реализация представленного подхода позволяет выявить существующие отраслевые рынки и идентифицировать их продуктовые границы. При этом решаются следующие методические проблемы: фактор времени подтверждает существование и устойчивость отраслевого рынка, четко определяются параметры технологической (и родственной) дифференциации, дальнейший расчет структурных параметров отраслевого рынка носит обоснованный характер.

### Апробация предложенной методики

Актуализируя использование предлагаемой методики для отраслевых рынков промышленной продукции в качестве объекта, были выбраны 10 групп в ОКВЭД, относящиеся к разделу С «Обрабатывающие производства». Источником является база данных СПАРК ИНТЕРФАКС. В выборку попали предприятия, действующие и имеющие положительную выручку за указанный период деятельности.

Структура выборки и ее основные характеристики представлены в таблице 2. В качестве апробации были выбраны 6 кодов ОКВЭД на уровне подкласса и 4 на уровне группы. Такое распределение обосновано глубокой технологической и продуктовой дифференциацией в рамках 28 группы ОКВЭД. Что в свою очередь повышает уровень репрезентативности выборки.

Таблица 2  
Table 2

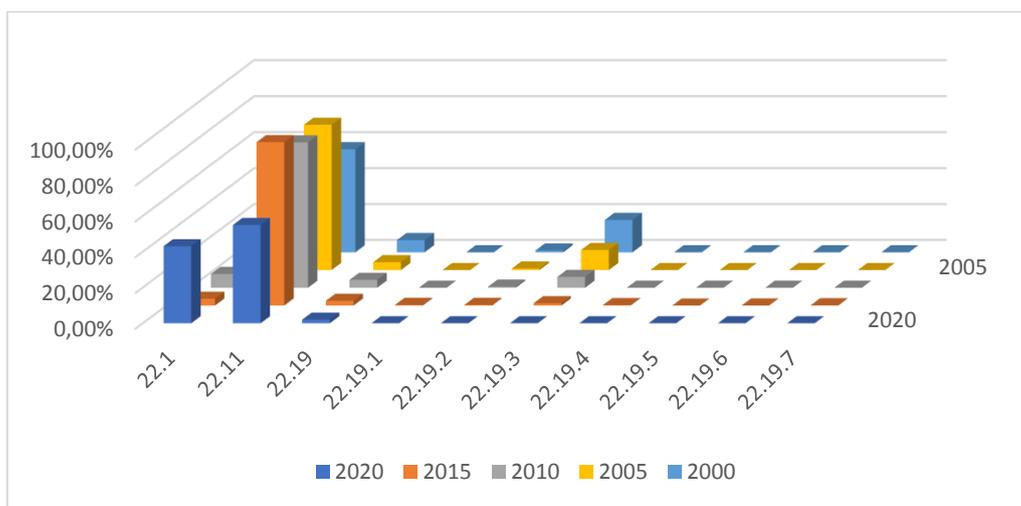
Основные характеристики выборки  
Main characteristics of the sample

Код ОКВЭД-2	Расшифровка (краткое описание номенклатуры)	Количество подгрупп/ видов деятельности	Количество предприятий в выборке				
			2000	2005	2010	2015	2020
1	2	3	4	5	6	7	8
22.1	Производство резиновых изделий	9	146	188	276	838	1236
24.2	Производство стальных труб, полых профилей и фитингов;	3	24	40	66	162	289
26.1	Производство элементов электронной аппаратуры и печатных схем (плат);	6	155	196	97	140	616
26.2	Производство компьютеров и периферийного оборудования;	5	81	122	168	449	598
26.7	Производство оптических приборов, фото- и кинооборудования;	7	59	53	62	177	204
27.2	Производство электрических аккумуляторов и аккумуляторных батарей;	6	17	19	23	56	85

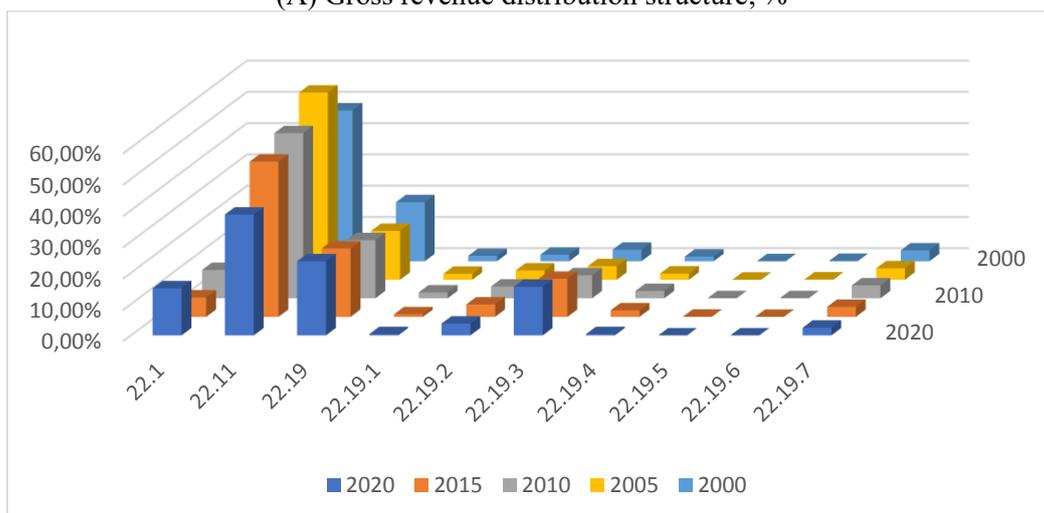
Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
28.11	Производство двигателей и турбин, кроме авиационных, автомобильных и мотоциклетных двигателей;	5	24	34	46	107	167
28.15	Производство подшипников, зубчатых передач, элементов механических передач и приводов;	3	32	38	58	145	207
28.22	Производство подъемно-транспортного оборудования;	10	63	86	155	458	744
28.25	Производство промышленного холодильного и вентиляционного оборудования.	6	94	149	256	749	1147

Далее представим результаты апробации представленной методики в рамках анализируемых подклассов и групп ОКВЭД.



А) структура распределения валовой выручки, %  
 (A) Gross revenue distribution structure, %

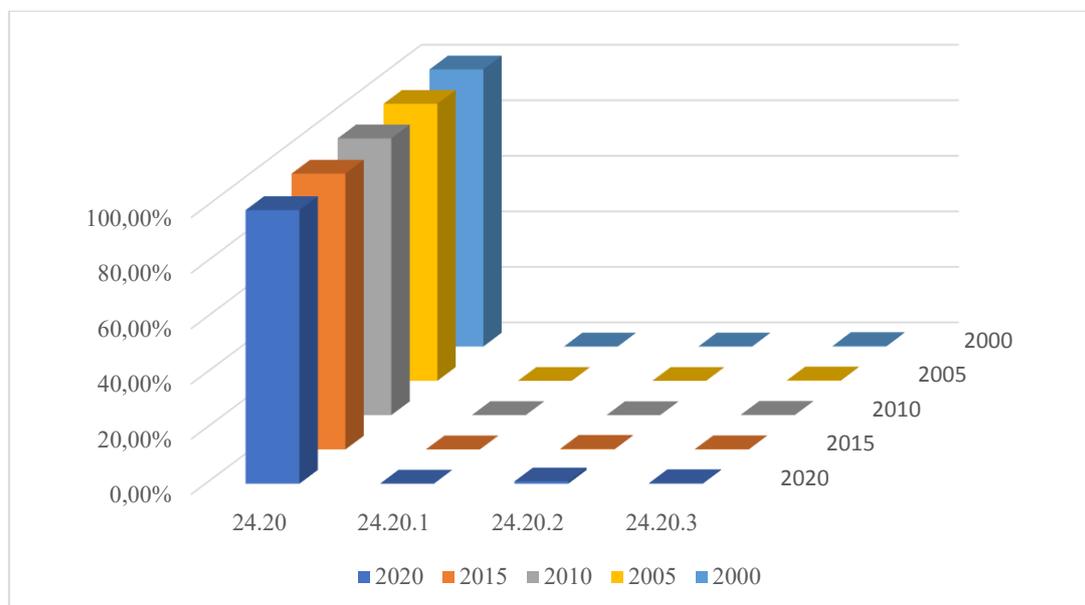


Б) взвешенная оценка структуры валовой выручки, %  
 B) weighted estimate of gross revenue structure, %

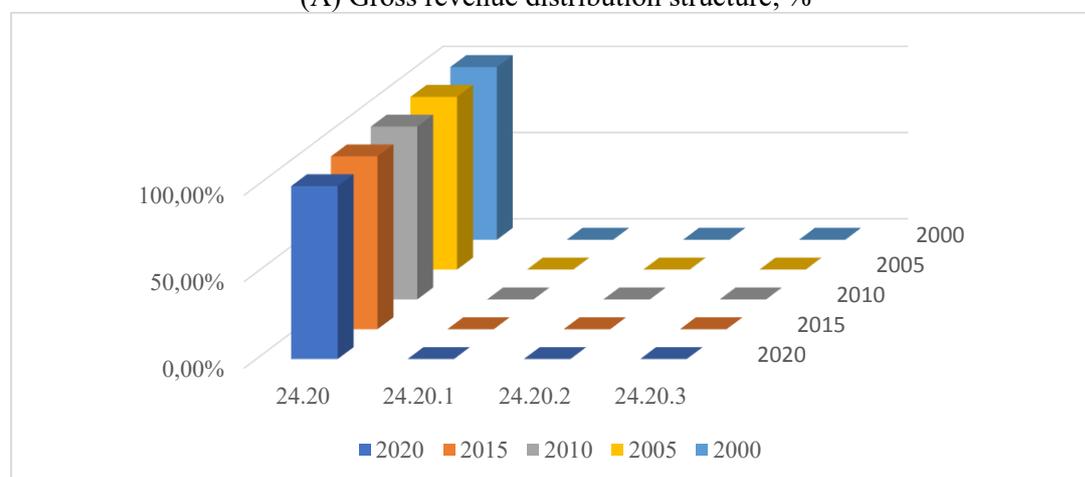
Рисунок 1 – Структура распределения валовой выручки подкласса 22.1  
 «Производство резиновых изделий»

Figure 1 – Gross revenue distribution structure of subclass 22.1 "Rubber products manufacturing"

Визуализация представленных расчетов по подклассу 22.1 «Производство резиновых изделий» позволяет выделить следующие отраслевые рынки: явным крупным отраслевым рынком в рамках данной группы ОКВЭД является группа 22.11 «Производство резиновых шин, покрышек и камер; восстановление резиновых шин и покрышек»; группа 22.19. «Производство прочих резиновых изделий» представляет собой высоко дифференцированный отраслевой рынок; отраслевой рынок на уровне 22.10 «Производство резиновых изделий» консолидирует предприятия, выполняющие множество сопутствующих работ и услуг в этой отрасли. При этом рассматриваемые рынки между собой не пересекаются.



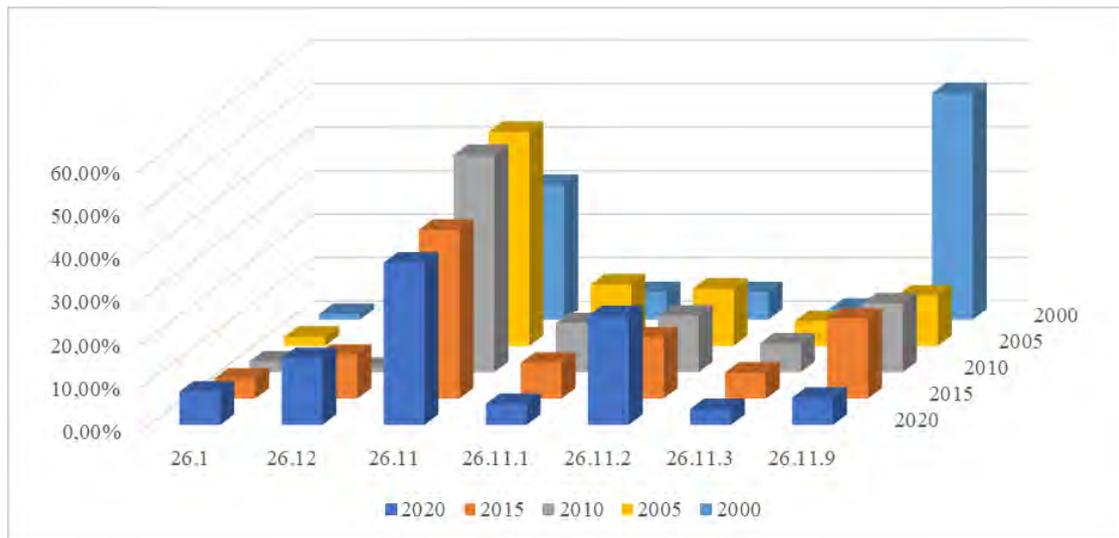
А) структура распределения валовой выручки, %  
(A) Gross revenue distribution structure, %



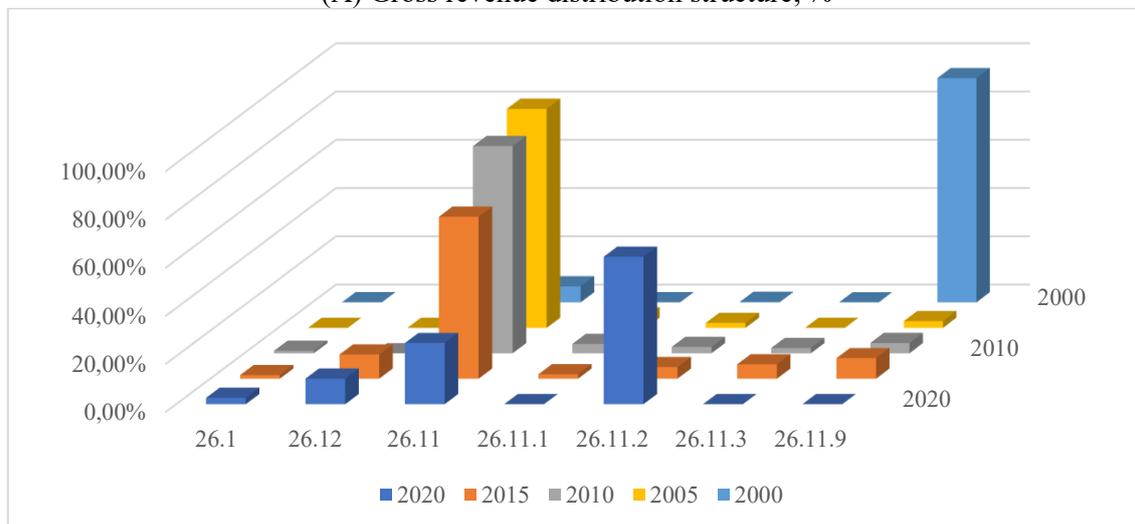
Б) взвешенная оценка структуры валовой выручки, %  
B) weighted estimate of gross revenue structure, %

Рис. 2. Структура распределения выручки подкласса 24.2  
«Производство стальных труб, полых профилей и фитингов»  
Fig. 2. Revenue distribution structure of subclass 24.2  
"Manufacture of steel pipes, hollow profiles and fittings"

В данном случае ярко проявляется продуктовая граница отрасли на уровне подкласса 24.2 «Производство стальных труб, полых профилей и фитингов». Предприятия, работающие в рамках групп этого отраслевого рынка, выполняют узкоспециализированные виды работ и услуг.



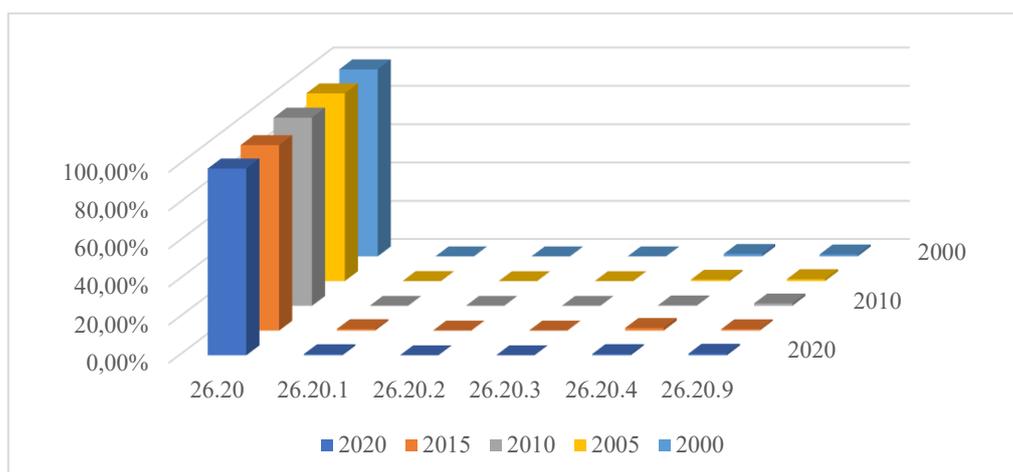
А) структура распределения валовой выручки, %  
 (A) Gross revenue distribution structure, %



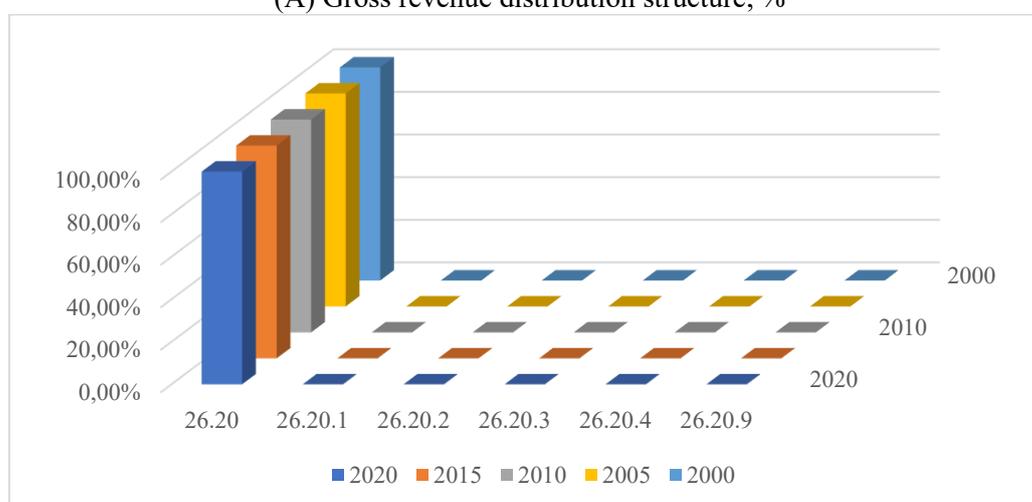
Б) взвешенная оценка структуры валовой выручки, %  
 B) weighted estimate of gross revenue structure, %

Рис. 3. Структура распределения выручки подкласса 26.1  
 «Производство элементов электронной аппаратуры и печатных схем»  
 Fig. 3. Revenue distribution structure of subclass 26.1  
 "Manufacture of electronic and printed circuit components"

Представленный результат использования методики очень наглядно реализуется в рамках подкласса 26.1. «Производство элементов электронной аппаратуры и печатных схем». Именно использование взвешенной оценки выручки позволяет однозначно идентифицировать существование отраслевого рынка на уровне группы 26.11. «Производство элементов электронной аппаратуры». Данный отраслевой рынок характеризуется высоким уровнем технической дифференциации и широкой, родственной номенклатурой выпускаемой продукции. Высокая значимость подгруппы 26.11.2 «Производство диодов, транзисторов и прочих полупроводниковых приборов, включая светоизлучающие диоды, пьезоэлектрические приборы и их части», говорит о существовании крупных производителей с соответствующей специализацией. Но данная тенденция проявилась только в 2020 году и требует дальнейшего наблюдения для обоснования существования отраслевого рынка в рамках подгруппы. Также следует отметить тенденцию становления отдельного отраслевого рынка на уровне группы 26.12 «Производство электронных печатных плат».



А) структура распределения валовой выручки, %  
 (A) Gross revenue distribution structure, %



Б) взвешенная оценка структуры валовой выручки, %  
 B) weighted estimate of gross revenue structure, %

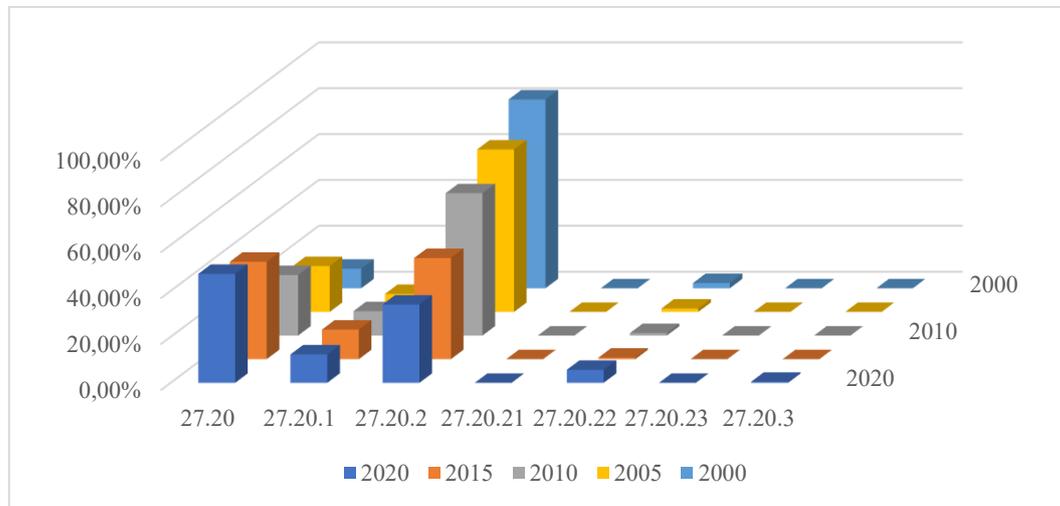
Рис. 4. Структура распределения выручки подкласса 26.2  
 «Производство компьютеров и периферийного оборудования»  
 Fig. 4. Revenue distribution structure of subclass 26.2  
 "Manufacture of computers and peripheral equipment"

Анализ данного подкласса по предложенной методике позволяет однозначно идентифицировать границы сложившегося отраслевого рынка на уровне указанного подкласса – 26.2. «Производство компьютеров и периферийного оборудования». Специфика предприятий, работающих в рамках данного подкласса, в большинстве случаев будет характеризоваться широкой технологической дифференциацией.

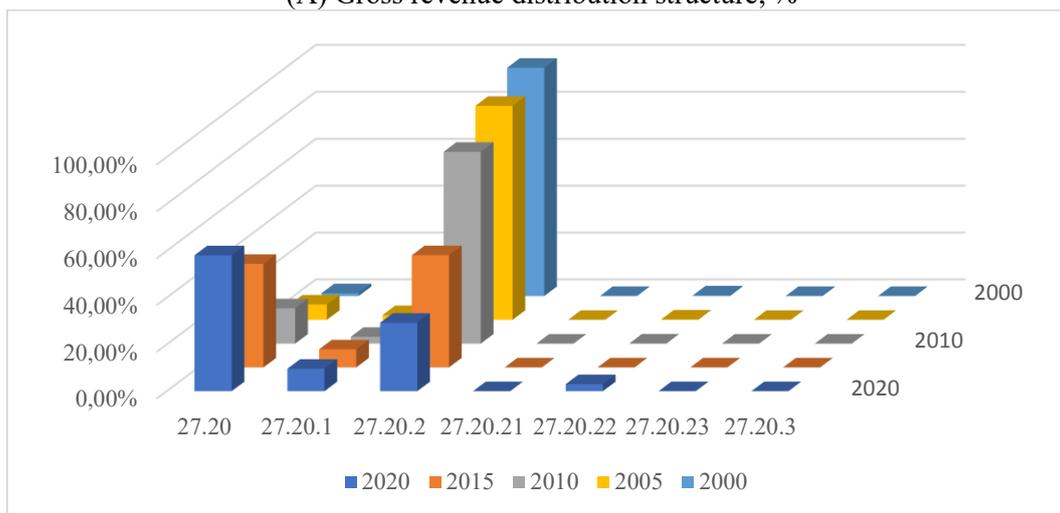
Визуализация результатов эмпирического анализа совокупной выручки по подклассу 27.2 «Производство компьютеров и периферийного оборудования» позволяет выявить существование двух отраслевых рынков на уровне подкласса в целом, и на уровне подгруппы 27.20.2. «Производство аккумуляторов, в том числе для автомобилей, аккумуляторных батарей и их составных частей». Также динамический анализ позволяет нам обозначить явную тенденцию снижения уровня технологической специализации производств, расширения ассортимента продукции предприятиями в рамках подкласса.

Рассматриваемый подкласс включает в себя широкую номенклатуру выпускаемой продукции, что существенно усложняет определение продуктовых границ отраслевого рынка. Анализ структуры совокупной выручки позволяет выделить 3 отраслевых рынка в рамках представленного подкласса:

- 26.70 Производство оптических приборов, фото- и кинооборудования;
- 26.70.1 Производство фото- и кинооборудования;
- 26.70.3 Производство оптических систем обнаружения оружия.



А) структура распределения валовой выручки, %  
 (A) Gross revenue distribution structure, %

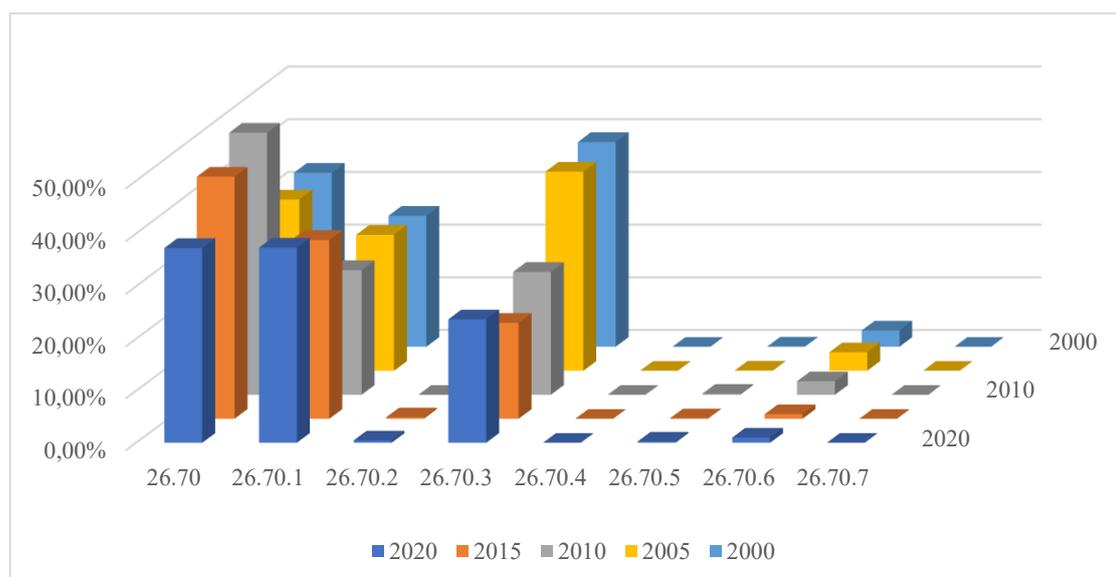


Б) взвешенная оценка структуры валовой выручки, %  
 B) weighted estimate of gross revenue structure, %

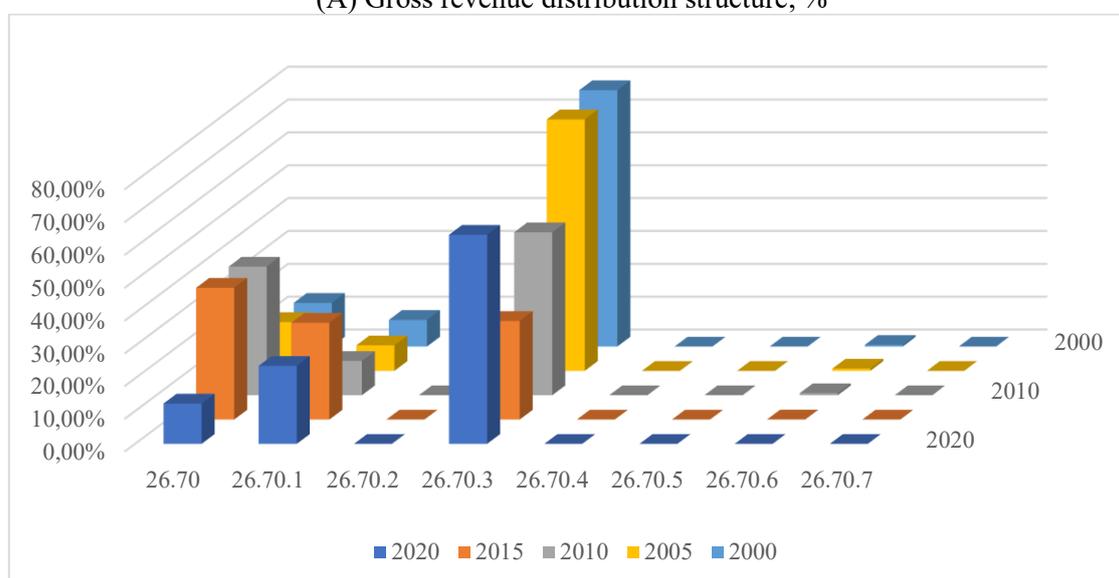
Рис. 5. Структура распределения выручки подкласса 27.2  
 «Производство компьютеров и периферийного оборудования»  
 Fig. 5. Revenue distribution structure of subclass 27.2  
 "Manufacture of computers and peripheral equipment"

Целесообразным представляется исключить из анализа выборки подкласса 26.7 предприятия, специализирующиеся в рамках указанных подгрупп отраслевых рынков.

Далее представим анализ отраслевых рынков на уровне группы 28 класса «Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки». Данный класс характеризуется высоким уровнем технологической дифференциации, специализацией и широкой номенклатурой выпускаемой продукции. Учитывая указанные особенности, поиск и обоснование существования продуктовых границ отраслевых рынков целесообразно представить на уровне групп.



А) структура распределения валовой выручки, %  
 (A) Gross revenue distribution structure, %



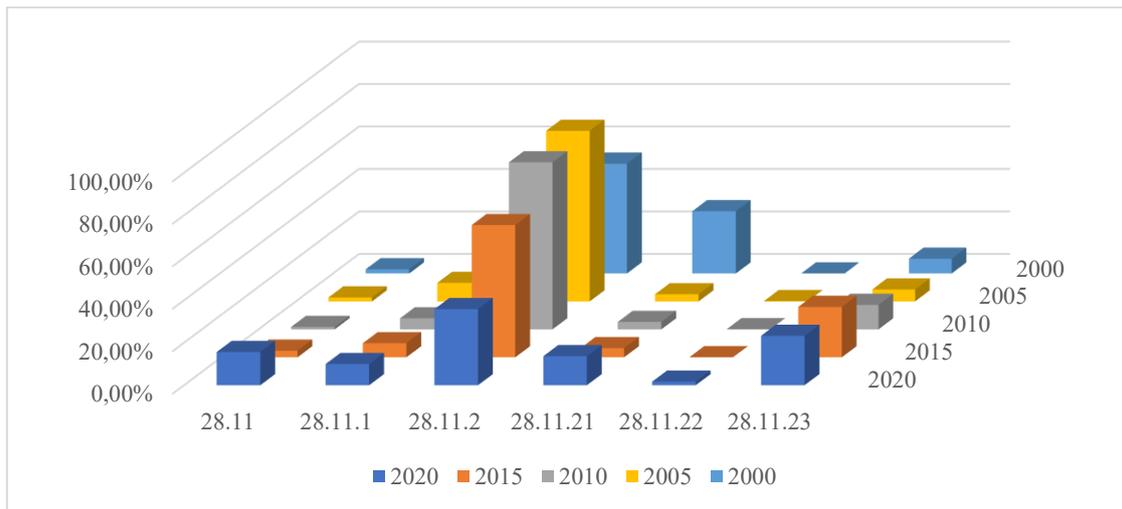
Б) взвешенная оценка структуры валовой выручки, %  
 B) weighted estimate of gross revenue structure, %

Рис. 6. Структура распределения совокупной выручки подкласса 26.7  
 «Производство оптических приборов, фото- и кинооборудования»  
 Fig. 6. Distribution structure of total revenue subclass 26.7  
 "Manufacture of optical instruments, photo and cinema equipment"

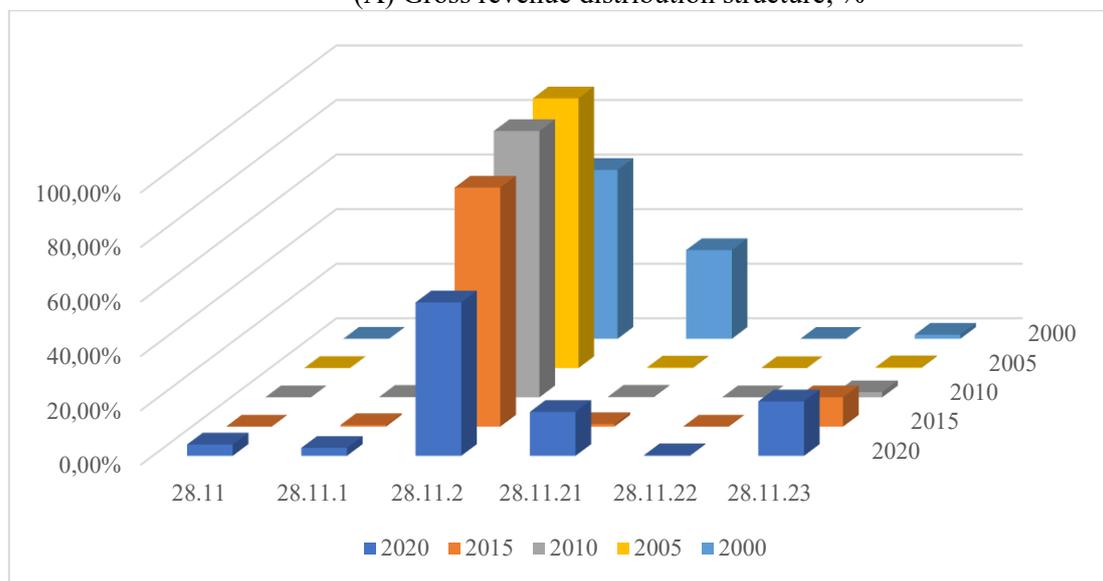
В рамках представленной группы продуктовые границы отраслевых рынков формируются на уровне двух подгрупп 28.11.1 «Производство двигателей, кроме авиационных, автомобильных и мотоциклетных» и 28.11.2 «Производство турбин».

Для первого выделенного отраслевого рынка логично предположить, что данный вид деятельности является сопутствующим по отношению к предприятиям, занимающимся выпуском авиационных, автомобильных и мотоциклетных двигателей.

Отраслевой рынок производства турбин будет характеризоваться технологической дифференциацией на уровне двух видов деятельности 28.11.21 «Производство паровых турбин» и 28.11.23. «Производство газовых турбин, кроме турбореактивных и турбовинтовых».



А) структура распределения валовой выручки, %  
 (A) Gross revenue distribution structure, %

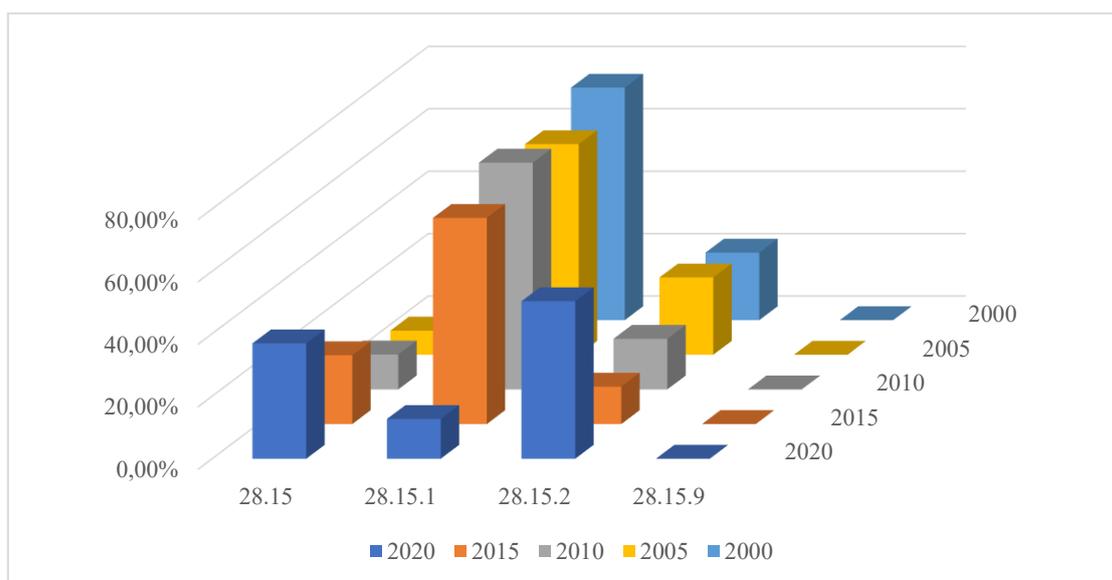


Б) взвешенная оценка структуры валовой выручки, %  
 B) weighted estimate of gross revenue structure, %

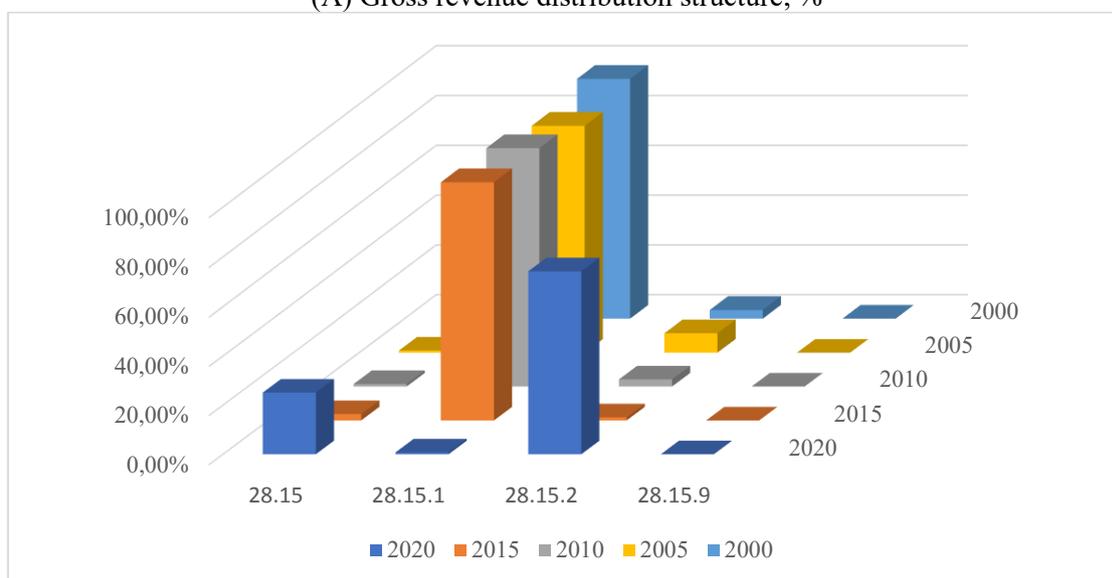
Рис. 7. Структура распределения выручки группы 28.11 «Производство двигателей и турбин, кроме авиационных, автомобильных мотоциклетных двигателей»

Fig. 7. Revenue distribution structure of group 28.11 "Manufacture of engines and turbines, except aircraft, motorbikes and motorbikes"

Структура данной группы является уникальной. Динамический анализ показывает, что на протяжении длительного периода явно проявлялось существование отраслевого рынка на уровне подгруппы 28.15.1 «Производство шариковых и роликовых подшипников». Но реорганизация отраслевого рынка, переход крупного бизнеса в более широкую группу или в иную специализацию 28.15.2 «Производство корпусов подшипников и подшипников скольжения, зубчатых колес, зубчатых передач и элементов приводов». Таким образом, целесообразно рассматривать продуктовые границы отраслевого рынка в рамках группы 28.15 «Производство подшипников, зубчатых передач, элементов механических передач и приводов» в целом, предполагая присутствие предприятий с широкой специализацией и узкой (в рамках подгруппы 28.15.2).



А) структура распределения валовой выручки, %  
 (A) Gross revenue distribution structure, %



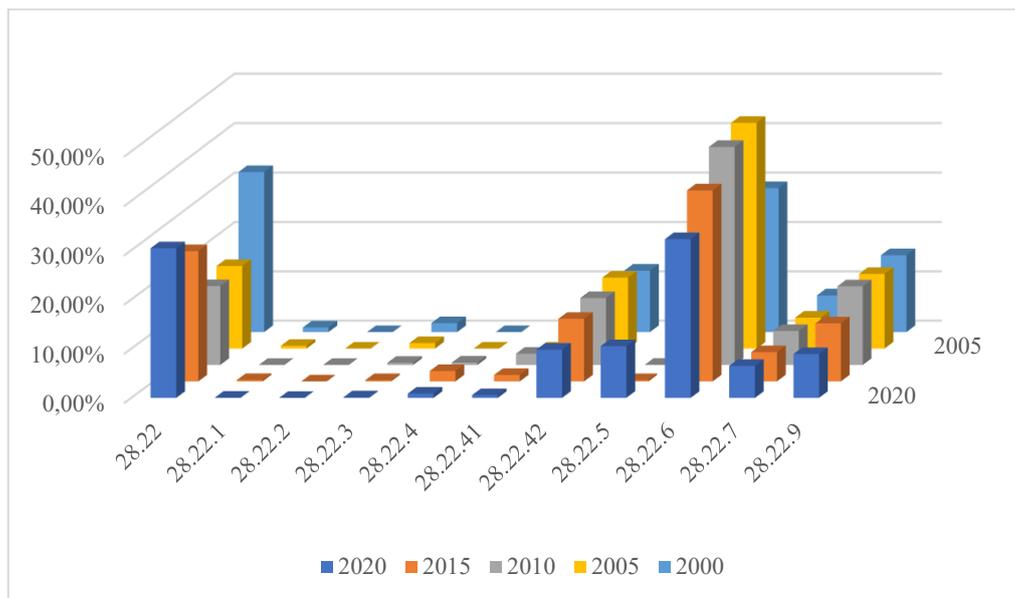
Б) взвешенная оценка структуры валовой выручки, %  
 B) weighted estimate of gross revenue structure, %

Рис. 8. Структура распределения выручки группы 28.15 «Производство подшипников, зубчатых передач, элементов механических передач и приводов»

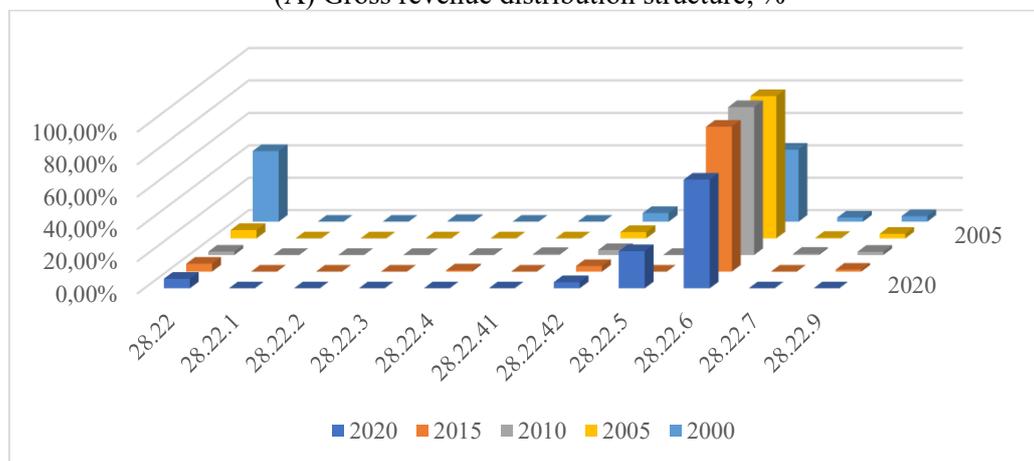
Fig. 8. Revenue Distribution Structure of Group 28.15 "Manufacture of Bearings, Gears, Gears and Drives"

В данном случае визуализация результатов эмпирического исследования позволяет выделить продуктовые границы следующих отраслевых рынков на уровне группы 28.22 «Производство подъемно-транспортного оборудования» – рынок с высоким уровнем технологической дифференциации и широким ассортиментом и узкоспециализированный рынок на уровне подгруппы 28.22.6 «Производство лифтов, скриптовых подъемников, эскалаторов и движущихся пешеходных дорожек».

В результате эмпирического анализа группы можно уверенно выделить два отраслевых рынка: 28.25.1 «Производство теплообменных устройств и машин для сжижения воздуха или прочих газов» – как рынок с более узкой технологической специализацией и отраслевой рынок с широкой специализацией и номенклатурой выпускаемой продукции на уровне группы 28.25.



А) структура распределения валовой выручки, %  
 (A) Gross revenue distribution structure, %



Б) взвешенная оценка структуры валовой выручки, %  
 B) weighted estimate of gross revenue structure, %

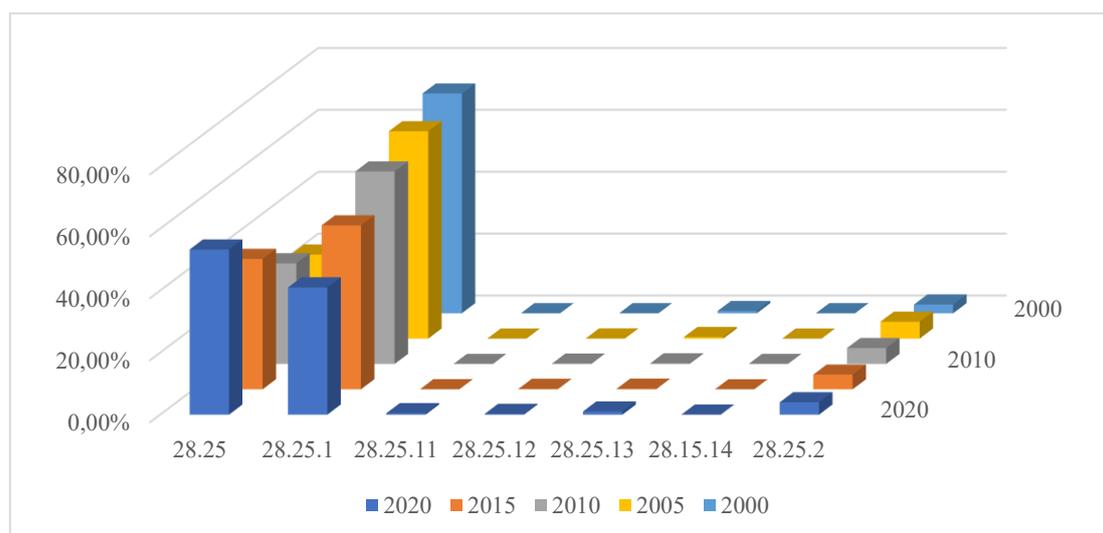
Рис. 9. Структура распределения выручки группы  
 28.22 «Производство подъемно-транспортного оборудования»

Fig. 9. Revenue distribution structure of group 28.22 "Production of lifting and handling equipment"

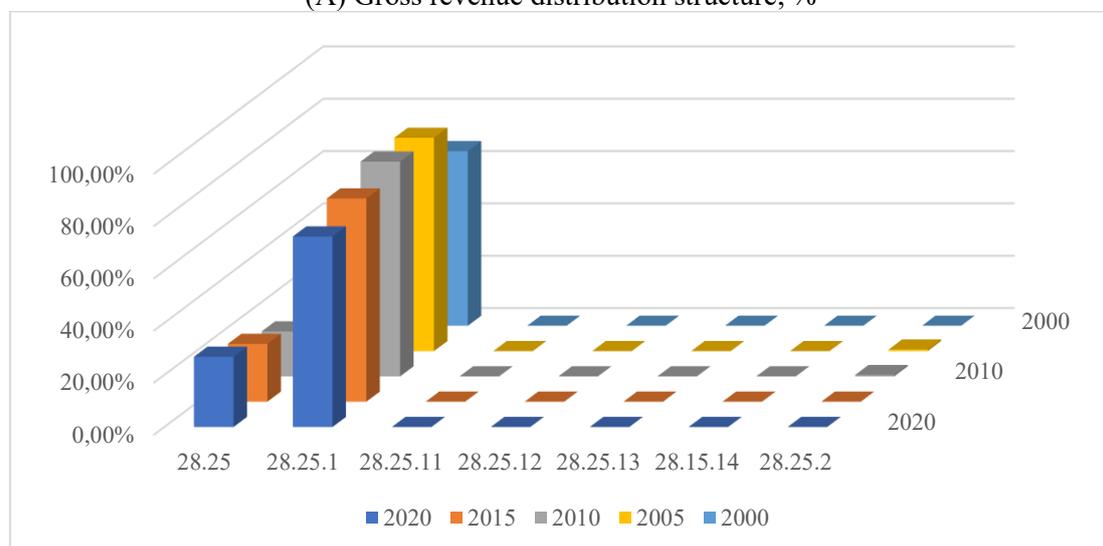
### Заключение

Определение продуктовых границ отраслевых рынков является нетривиальной теоретической и методической задачей. Она представляет собой коллаборацию трех объективных факторов: отсутствие общепризнанной теоретической трактовки отраслевого рынка; проблемы правоприменения нормативных методов определения продуктовых границ; существующую систему классификации видов деятельности и статистического учета. Авторами сделана попытка методически, учитывая сложившиеся условия, эту задачу решить.

Апробация предложенного методического подхода показала его практическую применимость и реализацию. Из 10 кодов ОКВЭД группы С «Обрабатывающие производства» в результате были достаточно точно определены продуктовые границы 19 отраслевых рынков промышленной продукции. Как видно, определенные продуктовые границы соответствуют особенностям технологической дифференциации и номенклатуры выпускаемой продукции в рамках рассматриваемых кодов.



А) структура распределения валовой выручки, %  
 (A) Gross revenue distribution structure, %



Б) взвешенная оценка структуры валовой выручки, %  
 B) weighted estimate of gross revenue structure, %

Рис. 10. Структура распределения выручки группы 28.25 «Производство промышленного холодильного и вентиляционного оборудования»

Fig. 10. Revenue distribution structure of group 28.25 "Manufacture of industrial refrigeration and ventilation equipment"

Использование методики позволяет быстро, недорого, и в большинстве случаев однозначно определить продуктовые границы отраслевых рынков в рамках классификатора ОКВЭД. Данный подход может быть интересен экспертам и аналитикам отраслевых рынков, государственным органам управления.

Предложенный методический аппарат предполагает развитие в части оценки уровня технологической дифференциации, что позлит подтверждать или опровергать, проводить уточнение продуктовых границ отраслевых рынков.

### Список литературы

Авдашева, С.Б., Голованова С.В., Крючкова П.В., Кудряшова Е.Н., Мелешкина А.И., Сухорукова, К.А., Шаститко А.Е. 2018. Антимонопольная политика на связанных рынках: теория и практика. Москва: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 440 с.



- Авдашева С.Б., Юсупова Г.Ф. 2021. Экономический анализ границ фирмы и ограничений конкуренции: случай консорциума «Северный поток-2». Вопросы экономики, 10: 134–151.
- Алейникова И.С., Евтюхов С.А., Лукьянов С.А. 2011. Входные барьеры как важнейшая динамическая характеристика современных рынков: подходы различных школ к определению. Современная конкуренция, 2: 40–46.
- Минцберг Г. 2019. Менеджмент: природа и структура организаций. *Litres*.
- Орехова С.В., Кислицын Е.В. 2019. Совокупная производительность факторов в промышленности России: малые vs крупные предприятия. *Journal of new economy*, 20(2): 127–144.
- Орехова С.В., Ярошевич Н.Ю. 2017. Институциональная организация отраслевых рынков: теория, методика и эмпирический анализ. *Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика*, 16 (265): 60–74.
- Портер М. 2005. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов. М.: Альпина Бизнес Букс, 454 с.
- Розанова Н.М. 2021. Методологические проблемы современной антимонопольной политики. *Проблемы прогнозирования*, 5: 64–73.
- Рой Л.В., Третьяк В.Н. 2008. Анализ отраслевых рынков. Учебное пособие. М., ИНФРА-М. 442с.
- Чугуев А.М. 2012. Отраслевой рынок: определения, структура, показатели. *Университетские чтения. Пятигорский государственный лингвистический университет*: 12–16.
- Шаститко А.Е., Паршина Е.Н. 2016. Рынки с двусторонними сетевыми эффектами: спецификация предметной области. *Современная конкуренция*, 10(1(55)): 5–18.
- Штапова И.С. 2009. Понятие отраслевого рынка и его когнитивное представление. *Экономические науки*, 5: 185–190.
- Abell D.E. 1980. *Defining the Business: The Starting point of Strategic Planning*. Englewood Cliffs. 320 p.
- Ahmad, A.A., Habibah, S.N. 2021. Market Structure and Determinants of Firm Profitability on General Insurance Industry in Indonesia. *Studies in Business and Economics*, 16(1): 26–41. <https://doi.org/10.2478/sbe-2021-0003>
- Boyd, T. 2014. Property Market Analysis: The key to looking forward. In *Proceedings of the PRRES Conference 2014*. University of the Sunshine Coast, Queensland.
- Brooks G.R. 1995. Defining market boundaries. *Strategic Management Journal*, 16(7): 535–549.
- Bustamante M. C., Donangelo A. 2017. Product market competition and industry returns. *The Review of Financial Studies*, 30(12): 4216-4266. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhx033>
- Digal L.N., Ahmadi-Esfahani, F.Z. 2002. Market power analysis in the retail food industry: a survey of methods. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 46(4): 559–584.
- Dobbs, I. 2002. The assessment of market power and market boundaries using the hypothetical monopoly test. Department of Accounting and Finance, and Newcastle School of Management, University of Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, UK.
- Gaynor M. S., Kleiner S.A., Vogt W. B. 2013. A Structural Approach to Market Definition With an Application to the Hospital Industry, *Journal of Industrial Economics*, Wiley Blackwell, 61(2): 243–289
- Gual J. 2003. Market Definition in the Telecoms Industry. CEPR Discussion Papers 3988, C.E.P.R. Discussion Papers.
- Howard S., Howard S., & Howard S. 2020. Quantitative market analysis of the European Climate Services sector -The application of the kMatrix big data market analytical tool to provide robust market intelligence. *Climate Services*, 17, 100108. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2019.100108>
- Kim J.H., Jung Y.L., Yoo, H.S. 2018. Design and implementation of “One-click” Industry Market Analysis System. *Proceedings of the Korean Contents Association ICCA*: 201–202.
- Li, X. 2019. Global market and income gaps between industries: evidence from finance industry and manufacturing industry. *The Journal of Chinese Sociology*, 6(1):1–25. <https://doi.org/10.1186/s40711-019-0103-3>
- Mason E.S. 1939 Price and Production Policies of Lange Scale Eenterprise // *American Economic Review*, 29: 61–74.
- Nightingale J. 2003. On the Definition of “Industrial” and “Market” *Journal of Industrial Economics*, 1(27): 31–40
- Pashkov S. 2021. Video game industry market analysis: Approaches that resulted in industry success and high demand.
- Robinson J. 1933. *The Economics of Imperfect Competition*. London: Macmillan.

- Sherer F.M., Ross D. 1991. Industrial market structure and economic performance. 3d ed. Boston: Houghton Mifflin Co.: 715p.
- Slater S.F., Olson E.M. 2002. A fresh look at industry and market analysis. *Business Horizons*, 45(1): 15–22. [https://doi.org/10.1016/S0007-6813\(02\)80005-2](https://doi.org/10.1016/S0007-6813(02)80005-2)

## References

- Avdasheva, S.B., Golovanova S.V., Kryuchkova P.V., Kudryashova E.N., Meleshkina A.I., Sukhorukova, K.A., Shastitko A.E. 2018. Antimonopol'naya politika na svyazannykh rynkakh: teoriya i praktika [Antimonopoly policy in related markets: theory and practice]. Moskva: Izdatel'skiy dom «Delo» RANHiGS, 440 p.
- Avdasheva S.B., Yusupova G.F. 2021. Ekonomicheskiy analiz granits firmy i ogranicheniy konkurentsii: sluchay konsortsiuma «Severnnyy potok -2» [Economic analysis of firm boundaries and competition constraints: the case of the Nord Stream -2 Consortium]. *Voprosy ekonomiki*, 10: 134–151.
- Aleynikova I.S., Evtyukhov S.A., Luk'yanov S.A. (2011). Vkhodnye bar'ery kak vazhneyshaya dinamicheskaya kharakteristika sovremennykh rynkov: podkhody razlichnykh shkol k opredeleniyu [Entry barriers as the most important dynamic characteristic of modern markets: approaches of various schools to the definition]. *Sovremennaya konkurentsia*, 2: 40–46.
- Mintzberg G. 2019. Menedzhment: priroda i struktura organizatsiy [Management: the nature and structure of organizations]. Litres.
- Orekhova S.V., Kislitsyn E. V. 2019. Sovokupnaya proizvoditel'nost' faktorov v promyshlennosti Rossii: malye vs krupnye predpriyatiya [Aggregate factor productivity in Russian industry: small vs large enterprises]. *Journal of new economy*, 20(2): 127–144.
- Orekhova S.V., Yaroshevich N.Yu. 2017. Institutsional'naya organizatsiya otraslevykh rynkov: teoriya, metodika i empiricheskiy analiz [Institutional organization of industry markets: theory, methodology and empirical analysis]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Ekonomika. Informatika*, 16 (265), 43: 60–74.
- Porter M. 2005. Konkurentnaya strategiya: Metodika analiza otrasley i konkurentnov [Competitive strategy: Methodology for analyzing industries and competitors]. M.: Al'pina Biznes Buks: 454.
- Rozanova N.M. 2021. Metodologicheskie problemy sovremennoy antimonopol'noy politiki [Methodological problems of modern antimonopoly policy]. *Problemy prognozirovaniya*, 5: 64–73.
- Roy L.V., Tret'yak V.N. 2008. Analiz otraslevykh rynkov [Analysis of industry markets]. Uchebnoe posobie. M., INFRA-M.: 442.
- Chuguev A.M. 2012. Otrasleyvyi rynek: opredeleniya, struktura, pokazateli [Industry market: definitions, structure, indicators]. *Universitetskie chteniya. Pyatigorskiy gosudarstvennyy lingvisticheskiy universitet*: 12–16.
- Shastitko A.E., Parshina E.N. 2016. Rynki s dvustoronnimi setevymi effektami: spetsifikatsiya predmetnoy oblasti [Markets with two-way network effects: domain specification]. *Sovremennaya konkurentsia*, 10(1(55)): 5–18.
- Shtapova I.S. 2009. Ponyatie otraslevogo rynka i ego kognitivnoe predstavlenie [The concept of an industry market and its cognitive representation]. *Ekonomicheskie nauki*, №. 5: 185–190.
- Abell D.E. 1980. *Defining the Business: The Starting point of Strategic Planning*. Englewood Cliffs. 320 p.
- Ahmad, A.A., Habibah, S.N. 2021. Market Structure and Determinants of Firm Profitability on General Insurance Industry in Indonesia. *Studies in Business and Economics*, 16(1): 26–41. <https://doi.org/10.2478/sbe-2021-0003>
- Boyd, T. 2014. Property Market Analysis: The key to looking forward. In *Proceedings of the PRRES Conference 2014*. University of the Sunshine Coast, Queensland.
- Brooks G.R. 1995. Defining market boundaries. *Strategic Management Journal*, 16(7): 535–549.
- Bustamante M. C., Donangelo A. 2017. Product market competition and industry returns. *The Review of Financial Studies*, 30(12): 4216-4266. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhx033>
- Digal L.N., Ahmadi-Esfahani, F.Z. 2002. Market power analysis in the retail food industry: a survey of methods. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 46(4): 559–584.
- Dobbs, I. 2002. The assessment of market power and market boundaries using the hypothetical monopoly test. Department of Accounting and Finance, and Newcastle School of Management, University of Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, UK.
- Gaynor M.S., Kleiner S.A., Vogt W.B. 2013. A Structural Approach to Market Definition With an Application to the Hospital Industry, *Journal of Industrial Economics*, Wiley Blackwell, 61(2): 243–289.



- Gual J. 2003. Market Definition in the Telecoms Industry. CEPR Discussion Papers 3988, C.E.P.R. Discussion Papers.
- Howard S., Howard S., & Howard S. 2020. Quantitative market analysis of the European Climate Services sector -The application of the kMatrix big data market analytical tool to provide robust market intelligence. *Climate Services*, 17, 100108. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2019.100108>
- Kim J.H., Jung Y.L., Yoo, H.S. 2018. Design and implementation of “One-click” Industry Market Analysis System. *Proceedings of the Korean Contents Association ICCA*: 201–202.
- Li, X. 2019. Global market and income gaps between industries: evidence from finance industry and manufacturing industry. *The Journal of Chinese Sociology*, 6(1):1–25. <https://doi.org/10.1186/s40711-019-0103-3>
- Mason E. S. 1939 Price and Production Policies of Large Scale Enterprise // *American Economic Review*, 29: 61–74.
- Nightingale J. 2003. On the Definition of “Industrial” and “Market” *Journal of Industrial Economics*, 1(27): 31–40
- Pashkov S. 2021. Video game industry market analysis: Approaches that resulted in industry success and high demand.
- Robinson J. 1933. *The Economics of Imperfect Competition*. London: Macmillan.
- Sherer F.M. Ross D. 1991. *Industrial market structure and economic performance*. – 3d ed. Boston: Houghton Mifflin Co.: 715p.
- Slater S.F., Olson E.M. 2002. A fresh look at industry and market analysis. *Business Horizons*, 45(1): 15–22. [https://doi.org/10.1016/S0007-6813\(02\)80005-2](https://doi.org/10.1016/S0007-6813(02)80005-2)

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ярошевич Наталья Юрьевна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики предприятий, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

**Natalya Yu. Yaroshevich**, Cand. Sc. (Econ.), Associate Prof., Associate Prof. of Enterprises Economics Dept, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

**Мигунов Василий Владимирович**, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

**Vasily B. Migunov**, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

# ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

## PUBLIC AND BUSINESS FINANCE

УДК 336.02; 338.2

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-327-338

### Анализ проблемы социально-экономического неравенства домохозяйств на уровне стратегического целеполагания развития России

**Дорофеев М.Л.**

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации  
Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Ленинградский проспект, д. 49  
E-mail: dorofeevml@yandex.ru

**Аннотация.** Целью исследования является проведение анализа социально-экономического неравенства домохозяйств на уровне стратегического целеполагания развития России. Для достижения цели были поставлены и решены задачи по проведению анализа целеполагания, а также план-факт анализа результатов реализации документов долгосрочного и среднесрочного социально-экономического развития России в контексте изменений уровня социально-экономического неравенства российских домохозяйств. Результаты исследования показали, что решение проблемы социально-экономического неравенства российских домохозяйств до 2020 г. проходило в несистемном виде, в основном за счет использования косвенных методов государственного финансового регулирования. Уровень доходного неравенства изменялся преимущественно под воздействием естественных циклических причин. Одним из результатов неэффективной политики государственного финансового регулирования социально-экономического неравенства распределения доходов российских домохозяйств является рекордно высокий уровень неравенства по богатству по состоянию на конец 2021 г. Научной новизной исследования является обоснование гипотезы о том, что сложности в решении проблемы социально-экономического неравенства в России связаны с недостаточной интеграцией соответствующих целей и задач в системе национального целеполагания России. Успешное решение проблемы регулирования социально-экономического неравенства домохозяйств в России возможно при создании условий равенства возможностей в самореализации и росте благосостояния. В таких условиях возможно одновременное существование эффективного социального государства и экономики с высокими темпами роста и технологического развития. Практическая значимость исследования состоит в том, что мы впервые провели подробный анализ проблемы социально-экономического неравенства не на основе фактических данных о неравенстве, а на уровне стратегического целеполагания в соответствующих документах. Проблема избыточного доходного неравенства не является неизбежностью для России и во многом зависит от желания регуляторов ее решать. Полученные результаты дают очень важную информацию о том, что необходимо сделать для повышения эффективности государственной финансовой политики регулирования в исследуемой области.

**Ключевые слова:** бедность, экономический рост, неравенство, доходное неравенство, децильный коэффициент фондов, национальные цели развития, социально-экономическое развитие

**Для цитирования:** Дорофеев М.Л. 2022. Анализ проблемы социально-экономического неравенства домохозяйств на уровне стратегического целеполагания развития России. Экономика. Информатика, 49(2): 327–338. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-327-338



# Analysis of the Problem of Household Socio-Economic Inequality at the Level of the Strategic Goal-Setting of the Development of Russia

**Mikhail L. Dorofeev**

Financial University under the Government of the Russian Federation,  
49 Leningradsky Prospekt, Moscow, 125993, GSP-3, Russia  
E-mail: dorofeevml@yandex.ru

**Abstract.** The purpose of the study is to analyze the socio-economic inequality of households at the level of strategic goal-setting for the development of Russia. To achieve this goal we analyzed the goal setting, and conducted plan-fact analysis of the implementation of goals from documents of long-term and medium-term socio-economic development of Russia in the context of changes in the level of socio-economic inequality of Russian households. The results of the study showed that the solution to the problem of socio-economic inequality of Russian households until 2020 took place in a non-systemic form, mainly due to the use of indirect methods of government financial regulation. The level of income inequality has changed mainly due to natural cyclical causes. One of the results of the inefficient policy of state financial regulation of socio-economic inequality in the distribution of income of Russian households is the record high level of inequality in wealth. The scientific novelty of the study is the justification of the hypothesis that the difficulties in solving the problem of socio-economic inequality in Russia are associated with the insufficient integration of the corresponding goals and objectives in the system of national goal setting in Russia. A successful solution to the problem of regulating the socio-economic inequality of households in Russia is possible with the creation of conditions for equality of opportunities in self-realization and growth of prosperity. In such conditions, it is possible to simultaneously exist an effective social state and an economy with high growth rates and technological development. The practical significance of the study is that for the first time we conducted a detailed analysis of the problem of socio-economic inequality, not on the basis of evidence on inequality, but at the level of strategic goal-setting in the relevant documents. The problem of excessive income inequality is not inevitable for Russia and largely depends on the desire of regulators to solve it. The results provide very important information on what needs to be done in order to improve the effectiveness of government financial regulatory policies in the studied area.

**Keywords:** poverty, economic growth, inequality, income inequality, the decile ratio of funds, national development goals, socio-economic development

**For citation:** Dorofeev M.L. 2022. Analysis of the Problem of Household Socio-Economic Inequality at the Level of the Strategic Goal-Setting of the Development of Russia. Economics. Information technologies, 49(2): 327–338 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-327-338

---

## Введение

Категории социально-экономического неравенства, бедности и экономического роста тесно взаимосвязаны между собой. В 2004 г. Ф. Бургиньон в своей статье предложил концепцию экономического развития на основе регулирования бедности, экономического роста и неравенства, получившую название треугольник Ф. Бургиньона [Бургиньон, 2004]. Дилемма выбора между одним из трех составляющих треугольника «Бедность – Неравенство – Рост» является ложной для разработки адекватной стратегии долгосрочного развития экономики страны. Из концепции Ф. Бургиньона заслуживают внимания следующие идеи:

1. Бедность и нищета зависят от социально-экономического неравенства и интенсивности перераспределения доходов, а также от уровня развития экономики и темпов ее роста.
2. Феномен взаимосвязей между социально-экономическими категориями треугольника Ф. Бургиньона проявляется в том, что социально-экономическое неравенство (в части поляризации доходов и богатства) и экономический рост взаимосвязаны между собой и оказывают обоюдное влияние друг на друга. При этом они в одностороннем порядке оказывают влияние на уровень предельной нищеты и бедности в стране.

3. Ликвидация предельной нищеты является необходимым, но недостаточным условием для оптимизации социально-экономического неравенства и максимизации темпов экономического роста.

4. Концепция Ф. Бургиньона учитывает, что влияние изменений факторов друг на друга будет зависеть от первоначального уровня доходов и социально-экономического неравенства в стране и могут различаться для разных стран.

Решение проблемы социально-экономического неравенства достаточно хорошо проработано в российских и иностранных трудах в различных направлениях исследования: (1) понятие и причины изменений в уровне социально-экономического неравенства [Дорофеев, 2020; Овчарова и др. 2016]; (2) тенденции, факторы и проблемы регулирования социально-экономического неравенства [Варшавский, 2016; Костылева, 2011]; (3) сравнение уровня и динамики социально-экономического неравенства в России и других странах [Капелюшников, 2020; Россошанский, 2019; Dorofeev, 2021, 2022]. Обзор российской научной литературы показал дефицит комплексных исследований, специализирующихся на поиске решений проблемы социально-экономического неравенства в документах стратегического целеполагания России.

Анализом взаимосвязи экономического роста и социально-экономического неравенства занимались различные ученые. В этой области остается большое количество нерешенных вопросов и неполученных ответов [Chang et al, 2019; Tridico and Melony, 2018]. Во многом это связано с проблемой данных, цикличностью анализируемых переменных и комплексностью проблемы социально-экономического неравенства.

Целью исследования является анализ проблемы социально-экономического неравенства российских домохозяйств на этапе формирования национальных целей развития России. Для этого основной фокус исследования сосредоточен на стратегическом целеполагании России в документах долгосрочного и среднесрочного планирования социально-экономического развития России. Исследование содержания этих документов, а также результатов реализации сформулированных в них планов позволит сформировать объективную оценку эффективности существующей системы государственного финансового регулирования социально-экономического неравенства в России.

### **Материалы и методы исследования**

Информационной базой исследования стали такие документы, как Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г. (далее Концепция); Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 г. (далее Стратегия), а также полный цикл доступных публикаций Минфина на тему Основные направления бюджетно-налоговой и таможенно-тарифной политики России с 2003 г. по 2018 г.

В качестве основных методов исследования выбраны план-факт анализ и сравнительный анализ данных из исследуемых документов с дополнительным поиском подтверждающих фактов из официальной отчетности результатов социально-экономического развития России.

### **Результаты исследования**

Начнем с того, что в Концепции и Стратегии впервые стал фигурировать конкретный показатель оценки уровня социально-экономического неравенства домохозяйств – децильный коэффициент фондов. Этот факт является очень важным, поскольку он указывает на принятие проблемы роста социально-экономического неравенства на высшем управленческом уровне и придает значимости этому вопросу в повестке органов исполнительной власти. В соответствии с планами правительства ожидалось снижение децильного коэффициента фонда с 16,8 раз в 2008 г. до 12 раз в 2020 г.

Ни в документах стратегического финансового планирования, ни в документах среднесрочного и оперативного планирования мы не нашли никаких конкретных планов о том, как именно государство планирует воздействовать на проблему социально-экономического неравенства. В этой связи остались без ответов вопросы о том, за счет каких факторов дол-



жен снижаться децильный коэффициент фондов, в чем заключаются ошибки финансового регулирования предыдущих лет, не позволившие достичь целевые показатели социально-экономического неравенства, как решение проблемы социально-экономического неравенства соотносится с решением других задач социально-экономической политики России и пр.

В табл. 1 представлены целевые макроэкономические показатели, на основе которых можно количественно оценить эффективность государственной финансовой политики регулирования социально-экономического неравенства в России в период 2007–2020 гг.

Таблица 1  
Table 1

План-факт анализ результатов реализации Концепции  
 Plan-fact analysis of the Concept implementation results

Целевые индикаторы социально-экономического развития	Ед. изм.	Первый этап (2007–2012 гг.)	Второй этап (2013–2020 гг.)	Итого, планировалось к достижению в период 2007–2020 гг.	План-факт анализ
1. Увеличение ожидаемой продолжительности жизни	лет	2,5	2	4,5	не достигнуто, 4,09 лет (пандемия COVID-19 сократила ср. продолжительность жизни на 2 года в 2020 г.) [РБК Экономика (б)]
2. Рост ВВП	%	137–138	164–165	288	достигнуто, номинальный рост ВВП составил 321,7 % [ВВП России по годам]
3. Рост заработной платы	раз	Ежегодный рост заработной платы в 2011–2020 годах составит 7,6 % – 9,7 %. В целом за период с 2007 по 2020 гг. заработная плата вырастет в 3,3 раза.			достигнуто, номинальный рост з/п составил 3,76 раз [Росстат (в)]
4. Рост реальных располагаемых доходов населения	%	153–154	164–172	265	не достигнуто, рост составил 243,2 % [Росстат (г)]
5. Рост производительности труда	%	140–141	171–178	251	не достигнуто, рост составил 124,9 % [Росстат (а)]
6. Государственная политика регулирования минимальной заработной платы	–	выход минимальной заработной платы на уровень прожиточного минимума	установление минимального размера оплаты труда на уровне восстановительного потребительского бюджета, превышающего прожиточный минимум трудоспособного населения в 2–2,2 раза		не достигнуто, с 2020 г. МРОТ приравняли к величине прожиточного минимума [Российская газета]
7. Увеличение среднего класса для обеспечения внутреннего платежеспособного спроса	%	расширение среднего класса (к нему отнесены лица со среднедушевым доходом выше 6 прожиточных минимумов, а также лица, имеющие автомобиль, банковские сбережения и возможность регулярного отдыха за границей) к 2020 г. вырастет до более 52 % – 55 % населения страны;			не достигнуто [Тихонова, 2020], по разным оценкам его доля в 2020-м не была примерно около 24 % [РБК Экономика (б)]

Целевые индикаторы социально-экономического развития	Ед. изм.	Первый этап (2007–2012 гг.)	Второй этап (2013–2020 гг.)	Итого, планировалось к достижению в период 2007–2020 гг.	План-факт анализ
8. Снижение бедности до уровня, характерного для развитых стран	%	снижение уровня абсолютной бедности с 13,4 % в 2007 г. до 6 % – 7 % в 2020 г. (к 2020 году масштабы бедности сократятся до 6,2 % или 8,9 млн человек); снижение уровня относительной бедности (или малообеспеченной части населения) с 22 % в 2007 г. до 15 % в 2020 г.			не достигнуто, по официальным данным Росстата уровень бедности в России составляет 12,1 % общей численности населения в 2020 г. [Росстат (б)]
9. Адресность государственной поддержки домохозяйств	%	доведение адресности выплаты социальных пособий уровню доходов населения (объем средств, поступающий реально нуждающимся семьям) к 2012 году в среднем по стране до 70 % – 80 % (в 2007 г. по экспертным оценкам было 40 % – 50 %);			не достигнуто, данные показатели сложно точно оценить, но по некоторым адресная поддержка не достигла требуемых значений, либо является недостаточно эффективной [РБК Экономика (в)]
		охват бедного населения государственными социальными программами к 2020 г. до 100 % процентов (в 2007 г. по экспертным оценкам 60 %).			
10. Поддержка пенсионеров	раз	средний размер трудовой пенсии достигает к 2010 г. 1,47 прожиточного минимума пенсионера одновременно с повышением среднего размера социальной пенсии до прожиточного минимума, а к 2016–2020 гг. его значение увеличивается до 2,5–3 прожиточных минимумов пенсионера;			не исполнено, средний размер пенсии в 2020 г. превышал прожиточный минимум в 1,46 раз [Пенсионный фонд России]
		создание условий для повышения индивидуального коэффициента замещения утраченного заработка, на который начислялись страховые взносы, трудовой пенсией по старости не менее чем до 40 процентов.			не достигнуто, по официальным данным ПФР и Росстата коэффициент замещения заработной платы в 2020 г. составил около 32 % [Росстат (в)]
11. Региональное неравенство	–	значительное снижение межрегиональной и внутрирегиональной дифференциации в уровне и качестве социальной среды и доходах населения, а также сближение стандартов жизни между столичными регионами и провинцией, крупными и малыми городами, городским и сельским населением за счет формирования новых центров экономического роста в экономике России.			не достигнуто, региональное неравенство не сокращается и по-прежнему находится на высоких уровнях; идея с созданием новых центров регионального экономического роста оказалась несостоятельной [Зарекцая, 2020; Зубаревич, 2017]
12. Снижение уровня социально-экономического неравенства домохозяйств	раз	Снижение децильного коэффициента фондов с 16,8 раз в 2008 г. до 12 раз в 2020 г.			не достигнуто, в 2020 г. коэффициент фондов оставался выше 15 [Dorofeev, 2021]
13. Государственные расходы на НИОКР	% ВВП	с 0,8 до 0,9	1,2	1,2 % ВВП к 2020 г.	не достигнуто, 0,69 % ВВП в 2020 г. [Счетная Палата]



Окончание табл. 1

Целевые индикаторы социально-экономического развития	Ед. изм.	Первый этап (2007–2012 гг.)	Второй этап (2013–2020 гг.)	Итого, планировалось к достижению в период 2007–2020 гг.	План-факт анализ
14. Государственные расходы на образование	% ВВП	с 4,1 до 4,3	5–5,3	5,3 % ВВП к 2020 г.	не достигнуто, 4 % ВВП в 2020 г. [Единый портал бюджетной системы]
15. Государственные расходы на здравоохранение	% ВВП	с 3,5 до 3,8	4,5–5	5,0 % ВВП к 2020 г.	не достигнуто, 4,6 % ВВП в 2020 г. [Единый портал бюджетной системы]

Источник: Составлено автором на основе источников, указанных в таблице.  
 Source: Compiled by the author based on the sources listed in the table.

Отметим, что на стр. 68 Концепции написано, что экономический рост не гарантирует преодоление бедности и может сопровождаться увеличением неравенства и социальной нестабильности. Это очень важная оговорка, свидетельствующая о том, что у политиков того времени было понимание возможных рисков реализации утверждённой программы развития. Главным образом эти риски были связаны с возможным ускорением роста экономического неравенства из-за недостаточности его регулирования «сверху»<sup>1</sup> после масштабных налоговых реформ и дерегулирования экономики в начале 2000-х. В дополнение к идее создания условий для опережающего экономического роста Правительство предусмотрело меры по регулированию социально-экономического неравенства за счет ликвидации предельной нищеты и снижения уровня бедности в стране.

За прошедшие 20 лет правительство России приложило усилия по борьбе с бедностью, потратив на это солидные средства из бюджета. После 2003 г. в арсенале инструментов правительства поэтапно стали появляться такие инструменты как (1) индексация заработной платы бюджетников; (2) валоризация пенсий пенсионеров; (3) детские пособия малоимущим семьям с детьми до трех лет, позже действие этого инструмента было расширено для семей с детьми с 3 до 7 лет; (4) пособия малоимущим семьям; (5) прямые выплаты семьям с детьми школьного возраста и пр. Несмотря на все эти усилия, фактические данные Росстата показывают, что ожидаемый в соответствии с Концепцией прогресс в снижении показателя бедности не был достигнут. В течение анализируемого периода уровень бедности в России незначительно снизился с 13,4 % в 2007 г. до 12,1 % в 2020 г., так и не достигнув целевых значений 6–7 % (рис. 1).

В 2012 г. уровень бедности по официальным данным Росстата приближался к 10 % населения России, но в результате ряда обстоятельств в 2013–2016 гг. (обвал нефтяных цен; падение курса рубля; ускорение инфляции; международные санкции, отток капитала и пр.) благосостояние населения России снова ухудшилось, а количество бедных вернулось на уровни 2007–2008 гг.

В период в 2014–2016 гг. уровень социально-экономического неравенства снижался при одновременном скачке уровня бедности. К концу 2016 г. доля бедного населения России резко выросла до уровней 2007 г. с последующим плавным снижением этого показателя до отметок 2010–2011 гг. Присоединение Крыма с низким уровнем благосостояния домохозяйств, смещение акцентов в бюджетной политике России в сторону военного и оборонного бюджета, усиление изоляции от внешнего мира и разрыв торговых отношений, отставание в технологическом развитии из-за соответствующих санкций и прочее обошлись очень дорого для каждого российского домохозяйства.

<sup>1</sup> Под регулированием «сверху» мы понимаем воздействие перераспределительного характера на темпы роста доходов и богатства самых богатых домохозяйств.

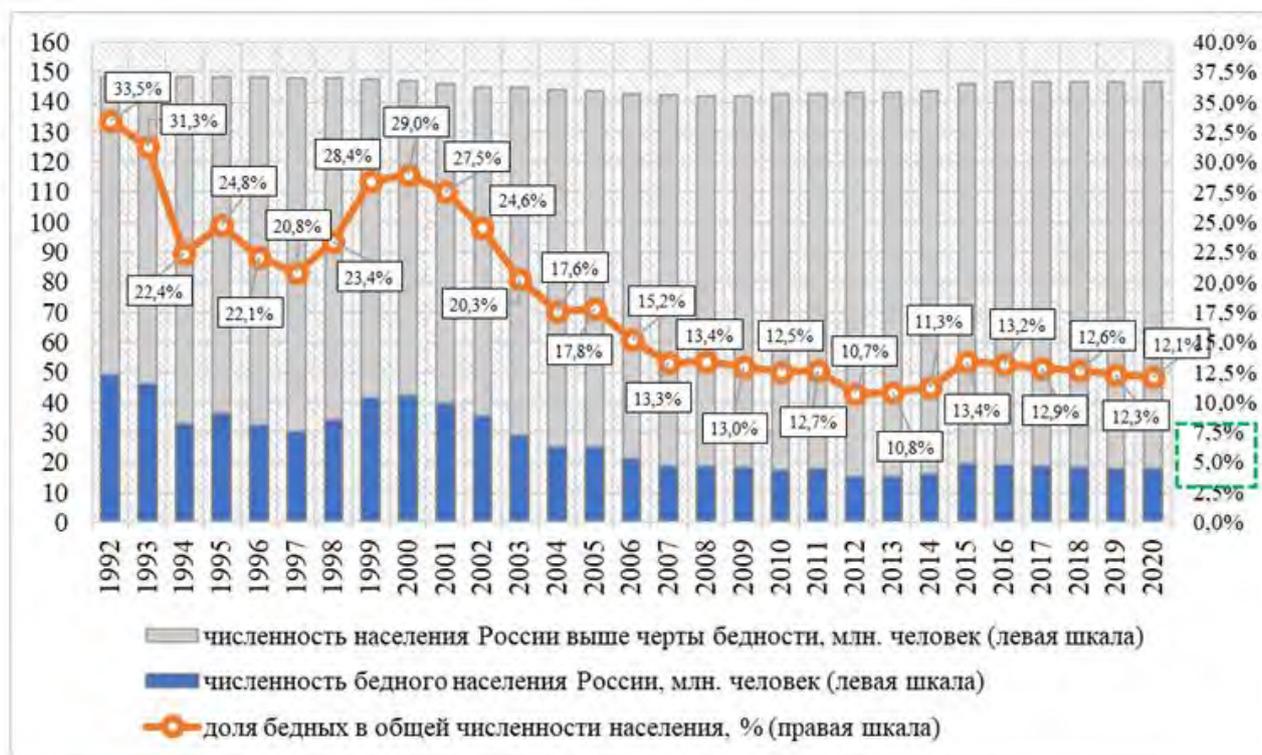


Рис. 1. Динамика уровня бедности в России в период 1992–2020 гг.

Fig. 1. The dynamics of the poverty level in Russia in the period 1992–2020.

Составлено на основе данных [Росстат (б)]

Примечания: Зеленой пунктирной обводкой на правой шкале уровня бедности показаны целевые значения (6 % – 7 %), ожидаемые к достижению в 2020 г. в соответствии с Концепцией.

На стр. 12 текста Стратегии написано, что ключевым драйвером снижения социального и имущественного неравенства вновь должен был стать рост доходов населения, т. е. фактически рост экономики. Вместе с тем на стр. 14–16 Стратегии перечислены главные стратегические угрозы, которые были способны помешать России выйти на траекторию устойчивого экономического роста в период 2007–2014 гг.

В числе этих угроз фигурирует много знакомых формулировок, в т. ч. на 11-м месте стоит «дифференциация населения по уровню доходов». В этом смысле длинный список угроз, сформулированный через 7 лет после утверждения Концепции, косвенно указывает на то, что большая часть задач социально-экономического развития из Концепции не была решена. Сохранение всех признаков развивающейся сырьевой экономики стало одной из важных причин отставания темпов экономического роста России от среднемировых значений. Планы по созданию мирового финансового центра в Москве были провалены, что негативно сказалось на динамике иностранных инвестиций в Россию [Алексеев, 2013; Зиядуллаев, 2014]. Не были проведены необходимые реформы по созданию независимой судебной системы, обеспечивающей достаточный уровень инвестиционной привлекательности экономики в глазах иностранных инвесторов.

### Выводы и дискуссия

Анализ долгосрочного целеполагания России показывает, что решение проблемы социально-экономического неравенства проводилось в несистемном виде. На федеральном уровне не существует единой государственной политики по регулированию проблемы высокой дифференциации доходов населения России. Ключевые показатели по снижению уровня дифференциации доходов населения существовали на бумаге. Их достижение осуществля-



лось косвенными методами, которые не сработали в том виде, как ожидалось на момент принятия документов долгосрочного социально-экономического развития России.

Несмотря на определенный прогресс в регулировании экономического неравенства, который невозможно отрицать, ключевые показатели в части снижения уровня бедности и уровня дифференциации российских домохозяйств по доходам и богатству, заложенные в документах долгосрочного социально-экономического развития, не были достигнуты в полном объеме. Уровень доходного неравенства во многих странах мира, в т. ч. и в России, по официальным данным снижается после 2008 г. [Dorofeev, 2021]. С этой точки зрения снижение доходного неравенства в России после 2008 г. в большей степени обусловлено естественными циклическими причинами, чем активной политикой государственного финансового регулирования. Кроме этого, на текущий момент Россия остается страной с рекордно высоким уровнем неравенства по богатству, что отражает накопленный эффект длительного существования несбалансированной системы распределения национального дохода среди российских домохозяйств [Chancel et al, 2022].

Страновая специфика экономического неравенства в России проявляется в том, что доля доходов нижних 50 % домохозяйств по мировым меркам вполне нормальная. Проблема бедности в России находится под контролем и по этому показателю наша страна выглядит гораздо лучше многих других сопоставимых стран даже при условии, что правительство не справляется с достижением национальных целей по снижению уровня бедности. Следующая группа домохозяйств, которую можно назвать средним классом (средние 40 %), обладает сравнительно невысокой долей национального дохода и совокупного чистого богатства по среднемировым меркам. Этот факт подчеркивает слабость внутреннего спроса, ограничивающий внутренний потенциал ускорения роста российской экономики. И, наконец, верхние 10 % российских домохозяйств (самые богатые) по мировым меркам получают избыточно высокую долю доходов и владеют чрезмерно большой долей активов [Dorofeev, 2021]. Есть исследования, например [Novokmet et al, 2017, 2018], указывающие на проблему вывода капитала из России наиболее богатыми людьми на астрономические суммы более 1 трлн долл. США. Данная сумма в несколько раз превышает размеры ФНБ России и по разным причинам эти деньги не были инвестированы в развитие России, повышение инновационности ее экономики и не послужили опорой для ускорения экономического роста. Наблюдая все это уже не первый год, регуляторы до сих пор не предпринимают соответствующие меры для принципиального изменения сложившейся ситуации.

Общая картина с неравенством по богатству в России может кардинально измениться ввиду форсмажорного стечения обстоятельств в 2022 г. Страны, в которых наиболее богатые граждане России хранили свои активы, фактически провели незаконную конфискацию этих активов после событий февраля 2022 г. В этой связи в новых отчетах о неравенстве по богатству за 2022–2023 г. мы можем увидеть потрясающие изменения в структуре богатства российского общества. Очевидно, что российские граждане станут в среднем более равными по этой метрике, однако это ни коим образом нельзя считать положительным событием и успехом в рамках проводимой политики государства по регулированию экономического неравенства российских домохозяйств.

Для снижения степени дифференциации российских домохозяйств по доходам следует начать с корректировки стратегического целеполагания. Необходимо более четко встроить задачи по регулированию социально-экономического неравенства в общую систему целей и задач национального развития России. Как мы уже писали ранее, проблема высокого неравенства не является неизбежностью и во многом зависит от желания регуляторов ее решать. Наше исследование показало, что на данный момент мы не уверены, что такое желание у регуляторов существует, иначе бы формулировки в национальных целях развития России и в документах долгосрочного социально-экономического развития были бы другими. Затем необходимо переходить к разработке комплексной концепции регулирования социально-экономического неравенства домохозяйств в России, прописывать направления государственной политики с обоснованием системы методов и инструментов его регулирования и

пр. Но все эти вопросы являются вторичными факторами успеха по борьбе с социально-экономическим неравенством.

При формировании целеполагания в сфере регулирования неравенства доходов домохозяйств необходимо стремиться к созданию условий равенства возможностей, не ограничивая награду за инициативность и успех. Накопленный исторический опыт показывает, что высокие и устойчивые темпы экономического роста невозможны при сохранении излишне жесткой политики государственного регулирования неравенства на длинных дистанциях [Дорофеев, 2021].

Основной объем последующих научных исследований в данной области должен быть направлен на усиление эмпирического обоснования необходимости снижать уровень дифференциации доходного и имущественного неравенства в контексте проблемы ускорения устойчивого экономического роста, развития инноваций и повышения уровня жизни в России. Возможно, это поможет регулятору и политикам лучше понять данную проблему и перейти от абстрактных упоминаний неравенства в ни к чему не обязывающих документах долгосрочно социально-экономического планирования к конкретным шагам по ее решению с применением методов и инструментов государственной социально-экономической политики.

### Заключение

В данной статье мы обращаем внимание на проблему социально-экономического неравенства на этапе формирования стратегического целеполагания России, а также на намерения регулятора ее решать. Наше исследование доказывает, что до 2020 г. проблема социально-экономического неравенства признавалась на высшем уровне управления социально-экономическим развитием страны, при этом планы по ее решению оставались на бумаге в несистемном виде, а поставленные задачи были решены частично. Целевые уровни бедности и неравенства в распределении доходов домохозяйств, зафиксированные в Концепции и Стратегии, не были достигнуты до 2020 г. Ставка правительства на переход от изживающей себя сырьевой модели российской экономики к модели опережающего экономического роста, основанной на инновационном развитии, не сработала. Правительству не удалось решить большой спектр задач, связанных непосредственно с неравенством доходов домохозяйств.

Недостаточно высокие темпы экономического роста не позволили повысить средний уровень жизни российских домохозяйств до целевых уровней. При этом решение по откату к прогрессивной системе налогообложения доходов и богатства российских домохозяйств слишком долго откладывалось с целью сохранения условий для более динамичного экономического роста. Около 20 лет в России существовала система пропорционального НДФЛ, предопределившая баланс в темпах роста доходов богатых и бедных домохозяйств. Сегодня Россия является страной с рекордно высоким неравенством по богатству по общемировым меркам. Кроме этого, ряд исследований указывает, что большая часть этого богатства была вывезена за границу и инвестирована не в развитие российской экономики. С нашей точки зрения данные результаты социально-экономического развития напрямую связаны с нечетким целеполаганием и тем, что правительство не занимается непосредственным решением проблемы социально-экономического неравенства.

Для снижения степени дифференциации российских домохозяйств по доходам и богатству следует проявить политическую волю и начать с проработки и корректировки стратегического целеполагания. Проблема высокого неравенства не является неизбежностью и во многом зависит от желания регуляторов ее решить. При формировании целеполагания в сфере регулирования неравенства доходов домохозяйств необходимо стремиться к созданию условий равенства возможностей, не ограничивая награду за инициативность и успех. Только в таких условиях возможно существование эффективного социального государства с высокими темпами роста экономики.



### Список источников

- Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики апрель 2019. Динамика и структура ВВП России. Режим доступа: URL <https://ac.gov.ru/files/publication/a/21979.pdf> (дата обращения: 09.12.2021).
- ВВП России по годам (данные Росстата). Режим доступа: URL: <http://global-finances.ru/vvp-rossii-pogodam/> (дата обращения 25-10-2021)
- Единый портал бюджетной системы Российской Федерации. Расходы бюджета. Режим доступа: URL: [http://budget.gov.ru/epbs/faces/p/Бюджет/Расходы?\\_adf.ctrl-state=pyzjesslh\\_82&regionId=45](http://budget.gov.ru/epbs/faces/p/Бюджет/Расходы?_adf.ctrl-state=pyzjesslh_82&regionId=45) (дата обращения: 08.12.2021).
- Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года. Режим доступа: URL: <http://static.government.ru/media/files/aaofFKSheDLiM99HEcyrygtfmGzrnAX.pdf> (дата обращения 10.03.2022).
- Минфин России. Режим доступа: URL: [https://minfin.gov.ru/ru/statistics/docs/budpol\\_taxpol/](https://minfin.gov.ru/ru/statistics/docs/budpol_taxpol/) (дата обращения 10.03.2022).
- Пенсионный фонд России. Что нужно знать о пенсионной системе. Режим доступа: URL: <https://pfr.gov.ru/grazhdanam/zakon/> (дата обращения 04-12-2021).
- РБК Экономика (а). «COVID-19 забрал у россиян два года жизни». Режим доступа: URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2021/03/15/604a3c099a7947c4afb996b7> (дата обращения 15-10-2021)
- РБК Экономика (б). Средний класс понес новые потери. Режим доступа: URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2020/09/28/5f6dde659a79477e5967a9e9> (дата обращения 30-11-2021).
- РБК Экономика (в). Счетная палата сообщила об отсутствии господомощи каждой пятой бедной семье. Почему система соцзащиты в России не выделяет поддержку нуждающихся своим приоритетом. Режим доступа: URL: <https://www.rbc.ru/economics/25/12/2020/5fe43a839a79474849e02e47> (дата обращения 04-12-2021)
- Росстат (а). Эффективность экономики России. Режим доступа: URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11186?print=1> (дата обращения 30-10-2021).
- Росстат (б). Неравенство и бедность. Режим доступа: URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13723> (дата обращения 13-10-2021).
- Росстат (в). Рынок труда, занятость и заработная плата. Режим доступа: URL: [https://rosstat.gov.ru/labor\\_market\\_employment\\_salaries?print=1](https://rosstat.gov.ru/labor_market_employment_salaries?print=1) (дата обращения 20-10-2021).
- Росстат (г). Уровень жизни. Режим доступа: URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13397?print=1> (дата обращения 25-10-2021).
- Российская газета. Принят закон о новой методике для МРОТ и запрете его снижать. Режим доступа: URL: <https://rg.ru/2020/12/16/priniat-zakon-o-novoj-metodike-dlia-mrot-i-zaprete-ego-snizhat.html> (дата обращения 05-11-2021)
- Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года. Режим доступа: URL: <http://www.kremlin.ru/supplement/424> (дата обращения 10.03.2022).
- Счетная Палата РФ. Уровень финансирования российской науки недостаточен для обеспечения технологического прорыва. Режим доступа: URL: <https://ach.gov.ru/checks/9658> (дата обращения: 08.12.2021).
- Указ Президента Российской Федерации «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации до 2030 года.». Режим доступа: URL <http://static.government.ru/media/acts/files/0001201705150001.pdf> (дата обращения: 09.12.2021).
- Указ о национальных целях развития России до 2030 года. Режим доступа: URL <http://www.kremlin.ru/events/president/news/63728> (дата обращения: 09.12.2021).
- Федеральное казначейство России. Исполнение бюджетов. Режим доступа: URL: <https://roskazna.gov.ru/ispolnenie-byudzhetrov/konsolidirovannyj-byudzhets/> (дата обращения: 10.12.2021).
- Chancel L.; Piketty T.; Saez E.; Zucman G. World inequality report 2022. URL: <https://wir2022.wid.world> (accessed 29-11-2021).
- Credit Suisse Group AG. 2020. The Global wealth report 2020. URL: <https://www.credit-suisse.com/about-us/en/reports-research/global-wealth-report.html> (accessed 12.09.2021).

### Список литературы

- Алексеев П.В. 2013. Формирование системы финансовых центров в России: теория и практика. Финансовый бизнес, 2(163): 21–28.
- Варшавский А.Е. 2016. Чрезмерное неравенство: угрозы, пути решения проблемы. Концепции, 1: 83–93.

- Варшавский А.Е. 2019. Чрезмерное неравенство доходов – проблемы и угрозы для России. Социологические исследования, 8: 52–61. DOI: 10.31857/S013216250006136-2
- Васильева Е.А. 2014. Административная реформа в Российской Федерации: цели, задачи, итоги. Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена, 164: 140–150.
- Дорофеев М.Л. 2020. Анализ причин долгосрочных изменений экономического неравенства в мировой экономике. Финансы: теория и практика, 24(6): С. 174–186. DOI 10.26794/2587-5671-2020-24-6-174-186.
- Дорофеев М.Л. 2021. Матрица эволюции государственного финансового регулирования экономики. Банковское дело, 10: 14–20.
- Зиядуллаев Н.С. 2014. Создание международного финансового центра в Москве как важнейшая составляющая экономической безопасности России. Национальные интересы: приоритеты и безопасность, 10, 33(270): 2–15.
- Зубаревич Н.В. 2014. Региональное развитие и региональная политика в России. ЭКО, 4(478): 6–27.
- Зубаревич Н.В. 2017. Развитие российского пространства: барьеры и возможности региональной политики, Мир новой экономики, 2: 46–57.
- Капелюшников Р.И. 2020. Команда Т. Пикетти о неравенстве в России: коллекция статистических артефактов. Вопросы экономики, (4): 67–106. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-4-67-106>
- Костылева Л.В. 2011. Неравенство населения России: тенденции, факторы, регулирование: монография. Вологда: Институт социально-экономического развития территорий РАН, 223 с.
- Овчарова Л.Н., Попова Д.О., Рудберг А.М. 2016. Декомпозиция факторов неравенства доходов в современной России. Журнал Новой Экономической Ассоциации, 3(31): 170–185.
- Россошанский А.И. 2019. Социально-экономическое неравенство населения в контексте развития социального государства современной России. Вестник НГИЭИ, 7(98): 108–117.
- Тихонова Н.Е. 2020. Средний класс в фокусе экономического и социологического подходов: границы и внутренняя структура (на примере России). Мир России. Социология. Этнология, 29(4): 34–56. DOI 10.17323/1811-038X-2020-29-4-34-56.
- Chang, Shinhye, Rangan Gupta, Stephen M. Miller, and Mark E. Wohar. 2019. Growth volatility and inequality in the U.S.: A wavelet analysis. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 521: 48–73. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.01.02>.
- Dorofeev M.L. 2021. Does Income Inequality Create Excessive Threats to the Sustainable Development of Russia? Evidence from Intercountry Comparisons via Analysis of Inequality Heatmaps. Economies, 9(4): 166. <https://doi.org/10.3390/economies9040166> ISSN: 2227-7099
- Dorofeev M.L. 2022. Interrelations between Income Inequality and Sustainable Economic Growth: Contradictions of Empirical Research and New Results. Economies, 10(2): 44. <https://doi.org/10.3390/economies10020044>
- Novokmet F., Piketty T., Zucman G. 2017. From Soviets to oligarchs: Inequality and property in Russia, 1905–2016. World Inequality Lab Working Papers, No. 2017/09.
- Novokmet F., Piketty T., Zucman G. 2018. From Soviets to oligarchs: Inequality and property in Russia, 1905–2016. Journal of Economic Inequality, 16(2): 189–223. <https://doi.org/10.1007/s10888-018-9383-0>
- Tridico, Pasquale, and Walter Paternesi Meloni. 2018. Economic growth, welfare models and inequality in the context of globalisation. The Economic and Labour Relations Review, 29: 118–39. <https://doi.org/10.1177/1035304618758941>.

## References

- Alekseev P.V. 2013. Formirovanie sistemy finansovyh centrov v Rossii: teorija i praktika [Formation of a system of financial centers in Russia: theory and practice]. Finansovyy biznes, 2(163): 21–28.
- Varshavskij A.E. 2016. Chrezmernoe neravenstvo: ugrozy, puti reshenija problem [Excessive inequality: threats, ways to solve the problem]. Konceptii, 1: 83–93.
- Varshavskij A.E. 2019. Chrezmernoe neravenstvo dohodov – problemy i ugrozy dlja Rossii [Excessive income inequality - problems and threats to Russia]. Sociologicheskie issledovanija, 8: 52–61. DOI: 10.31857/S013216250006136-2
- Vasil'eva E.A. 2014. Administrativnaja reforma v Rossijskoj Federacii: celi, zadachi, itogi. [Administrative reform in the Russian Federation: goals, objectives, results.] Izvestija Rossijskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A. I. Gercena, 164: 140–150.



- Dorofeev M.L. 2020 Analiz prichin dolgosrochnyh izmenenij jekonomicheskogo neravenstva v mirovoj jekonomike [Analysis of the causes of long-term changes in economic inequality in the global economy]. *Finansy: teorija i praktika*, 24(6): 174–186. – DOI 10.26794/2587-5671-2020-24-6-174-186.
- Dorofeev M.L. 2021. Matrix of evolution of state financial regulation of the economy. *Bankovskoe delo*, 10: 14-20.
- Zijadullaev N.S. 2014. Sozdanie mezhdunarodnogo finansovogo centra v Moskve kak vazhnejshaja sostavljajushhaja jekonomicheskoy bezopasnosti Rossii [The creation of an international financial center in Moscow as the most important component of the economic security of Russia]. *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'*, 10, 33(270): 2–15.
- Zubarevich N.V. 2014. Regional'noe razvitie i regional'naja politika v Rossii [Regional development and regional policy in Russia], *JeKO*, 4(478): 6–27.
- Zubarevich N.V. 2017. Razvitie rossijskogo prostranstva: bar'ery i vozmozhnosti regional'noj politiki [Development of the Russian space: barriers and opportunities of regional politics]. *Mir novoj jekonomiki*, 2: 46–57.
- Kapeljushnikov R.I. 2020. Komanda T. Piketti o neravenstve v Rossii: kollekcija statisticheskikh artefaktov [Piketty's team on inequality in Russia: a collection of statistical artifacts]. *Voprosy jekonomiki*, (4): 67–106. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-4-67-106>
- Kostyleva L.V. 2011. Neravenstvo naselenija Rossii: tendencii, faktory, regulirovanie [Inequality of the Russian population: trends, factors, regulation]: monografija. Vologda: Institut social'no-jekonomicheskogo razvitija territorij RAN, 223 p.
- Ovcharova L.N., Popova D.O., Rudberg A.M. 2016 Dekompozicija faktorov neravenstva dohodov v sovremennoj Rossii [Decomposition of factors of income inequality in modern Russia]. *Zhurnal Novoj Jekonomicheskoy Associacii*, 3(31): 170–185.
- Rossoshanskij A.I. 2019. Social'no-jekonomicheskoe neravenstvo naselenija v kontekste razvitija social'nogo gosudarstva sovremennoj Rossii [Socio-economic inequality of the population in the context of the development of the social state of modern Russia]. *Vestnik NGIJeI*, 7 (98): 108–117.
- Tihonova N.E. 2020. Srednij klass v fokuse jekonomicheskogo i sociologicheskogo podhodov: granicy i vnutrennjaja struktura (na primere Rossii) [The middle class is in the focus of economic and sociological approaches: borders and internal structure (on the example of Russia)]. *Mir Rossii. Sociologija. Jetnologija*, 29(4): 34–56. DOI 10.17323/1811-038X-2020-29-4-34-56.
- Chang, Shinhye, Rangan Gupta, Stephen M. Miller, and Mark E. Wohar. 2019. Growth volatility and inequality in the U.S.: A wavelet analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 521: 48–73. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.01.02>.
- Dorofeev M.L. 2021. Does Income Inequality Create Excessive Threats to the Sustainable Development of Russia? Evidence from Intercountry Comparisons via Analysis of Inequality Heatmaps. *Economies*, 9(4): 166. <https://doi.org/10.3390/economies9040166> ISSN: 2227-7099
- Dorofeev M.L. 2022. Interrelations between Income Inequality and Sustainable Economic Growth: Contradictions of Empirical Research and New Results. *Economies*, 10(2): 44. <https://doi.org/10.3390/economies10020044>
- Novokmet F., Piketty T., Zucman G. 2017. From Soviets to oligarchs: Inequality and property in Russia, 1905-2016. *World Inequality Lab Working Papers*, No. 2017/09.
- Novokmet F., Piketty T., Zucman G. 2018. From Soviets to oligarchs: Inequality and property in Russia, 1905-2016. *Journal of Economic Inequality*, 16(2): 189–223. <https://doi.org/10.1007/s10888-018-9383-0>
- Tridico, Pasquale, and Walter Paternesi Meloni. 2018. Economic growth, welfare models and inequality in the context of globalisation. *The Economic and Labour Relations Review*, 29: 118–39. <https://doi.org/10.1177/1035304618758941>.

**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

**Дорофеев Михаил Львович**, кандидат экономических наук, доцент департамента общественных финансов, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Mikhail L. Dorofeev**, PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Public Finance, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

## COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 621.396.969.3

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-339-348

### О выборе размеров прецедента в задаче обнаружения объектов на цифровых изображениях

<sup>1)</sup> Петров Д.В., <sup>2)</sup> Жилияков Е.Г., <sup>2)</sup> Черноморец Д.А., <sup>2)</sup> Болгова Е.В., <sup>2)</sup> Черноморец А.А.

<sup>1)</sup> Общество с ограниченной ответственностью «Манатекс»,  
Россия, 308000, г. Белгород, пр-т Славы 35а, оф. 301

<sup>2)</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
E-mail: Chernomorets@bsu.edu.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрена возникающая при разработке систем видеонаблюдения задача выбора размеров прецедента при обнаружении объектов на изображениях с учетом характеристик оптико-электронной системы. На примере показано, что для решения задачи обнаружения на цифровых изображениях объектов, находящихся на различном расстоянии от наблюдателя, на основе сравнения с прецедентами существенным является соответствующий выбор размера прецедента, который зависит от характеристик применяемой цифровой видеокамеры. Рассмотрены примеры областей применения в задачах наблюдения видеокамер с различным эквивалентным фокусным расстоянием. Приведены соотношения для определения эквивалентного фокусного расстояния объектива (эквивалент 35 мм) на основании значения фактического фокусного расстояния объектива видеокамеры, определяемого его конструктивными особенностями. Приведены соотношения для вычисления размеров прецедента, соответствующего наблюдаемому объекту заданного размера и расположенного на известном расстоянии от наблюдателя, с учетом характеристик оптико-электронной системы. Приведены примеры значений размеров объекта (пиксели) на изображении в зависимости от расстояния до объекта заданных размеров (м) на наблюдаемой сцене при различных значениях характеристик цифровой видеокамеры. Разработан алгоритм решения задачи обнаружения объектов на изображении на основе анализа прецедентов, размеры которых зависят от характеристик применяемой видеокамеры, а также от размеров искомого объекта и расстояния от него до наблюдателя. Приведены примеры обнаружения объектов на изображениях с учетом характеристик цифровой видеокамеры.

**Ключевые слова:** обнаружение объектов, изображение, видеокамера, эквивалентное фокусное расстояние, размерность фотоматрицы, размер прецедента, размер объекта, расстояние до объекта

**Для цитирования:** Петров Д.В., Жилияков Е.Г., Черноморец Д.А., Болгова Е.В., Черноморец А.А. 2022. О выборе размеров прецедента в задаче обнаружения объектов на цифровых изображениях. Экономика. Информатика, 49(2): 339–348. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-339-348

### On Choosing the Precedent Size in the Problem of Objects Detecting in Digital Images

<sup>1)</sup> Denis V. Petrov, <sup>2)</sup> Evgeny G. Zhilyakov, <sup>2)</sup> Daria A. Chernomorets, <sup>2)</sup> Evgeniya V. Bolgova,  
<sup>2)</sup> Andrey A. Chernomorets

<sup>1)</sup> Limited Liability Company "Manatechs", of. 301, 35a Slavi Ave, Belgorod, 308000, Russia

<sup>2)</sup> Belgorod National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia  
E-mail: Chernomorets@bsu.edu.ru

**Abstract.** In the paper we consider the problem arising in the video surveillance systems development of choosing the precedent size when detecting objects in images, taking into account the optoelectronic system



characteristics. The example shows that in order to solve the objects detection problem at different distances from the observer on digital images, based on comparison with precedents, it is essential to choose the appropriate precedent size, which depends on the digital video camera characteristics. Examples of applications in surveillance tasks of video cameras with different equivalent focal lengths are considered. The relations for determining the equivalent focal length of the lens (equivalent to 35 mm) are given based on the value of the actual focal length of the camera lens determined by its design features. Relations are given for calculating the precedent size corresponding to an observed object of a given size and located at a known distance from the observer, taking into account the characteristics of the optoelectronic system. Examples of object size values (pixels) in the image are given depending on the distance to the object of specified dimensions (m) on the observed scene at different values of the digital video camera characteristics. An algorithm has been developed for solving the problem of detecting objects in an image based on the analysis of precedents, which dimensions depend on the video camera characteristics, as well as on the desired object size and the distance from it to the observer. Examples of object detection in images are given, taking into account the digital video camera characteristics.

**Keywords:** object detection, image, video camera, equivalent focal length, photo matrix dimension, precedent size, object size, distance to the object

**For citation:** Petrov D.V., Zhilyakov E.G., Chernomorets D.A., Bolgova E.V., Chernomorets A.A., 2022. On Choosing the Precedent Size in the Problem of Objects Detecting in Digital Images. Economics. Information technologies, 49(2): 339–348 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-339-348

Цифровая обработка изображений широко применяется в системах видеонаблюдения, что позволяет решать разнообразные задачи контроля окружающей среды, обнаружения посторонних для контролируемых территорий и помещений объектов, задачи распознавания объектов на изображениях и др. [Бакулев, Степин, 1986; Гонсалес, Вудс, 2012; Вагнер, Вагнер, 2016; Черноморец и др. 2020;].

Решение указанных задач на основе применения оптико-электронных систем предполагает выполнение различных этапов обработки изображений: удаление шумов, повышение визуального качества, предварительная обработка изображений на основе математической морфологии Ж.-П. Серра, сравнение фрагментов изображений с образцами искомых объектов (прецедентами) и др. [Алпатов и др., 2008; Шитова, Пухляк, Дроб, 2014; Schindler, Förstner, 2021; Voronin, 2022]. Во многих случаях на данных этапах обработки изображений применяются различные фильтры, скользящие окна анализа, структурообразующие элементы и др., одной из характеристик которых является их размер. Выбор размера анализируемой области на изображении, соответствующей размерам наблюдаемых объектов, расположенных на различном расстоянии, во многом определяет эффективность решения задач видеонаблюдения, что демонстрирует решение, например, следующей задачи.

Рассмотрим задачу обнаружения на изображении объекта, находящегося на заданном расстоянии от наблюдателя, при условии, что известны образец изображения объекта (прецедент) и его фактические размеры на наблюдаемой сцене.

На рисунке 1 приведены результаты обнаружения объекта на изображении путем сравнения фрагментов изображения (скользящее окно) с прецедентами, имеющими различные размеры (пиксели), на основании вычисления взаимной корреляции прецедента и изображения. Прецеденты различного размера (пиксели) получены в результате применения операции масштабирования к исходному прецеденту (рисунок 1а).

Для прецедента шириной 50 пикселей в результате решения задачи обнаружения объекта, заключающейся в поиске максимального значения взаимной корреляции данного прецедента и анализируемого изображения, на рисунке 1б прямоугольником выделена соответствующая область.

При выборе прецедента, например, шириной 75 пикселей, полученного при масштабировании исходного прецедента, приведенного на рисунке 1а, результатом решения задачи обнаружения объекта является область, выделенная прямоугольником на рисунке 1в.

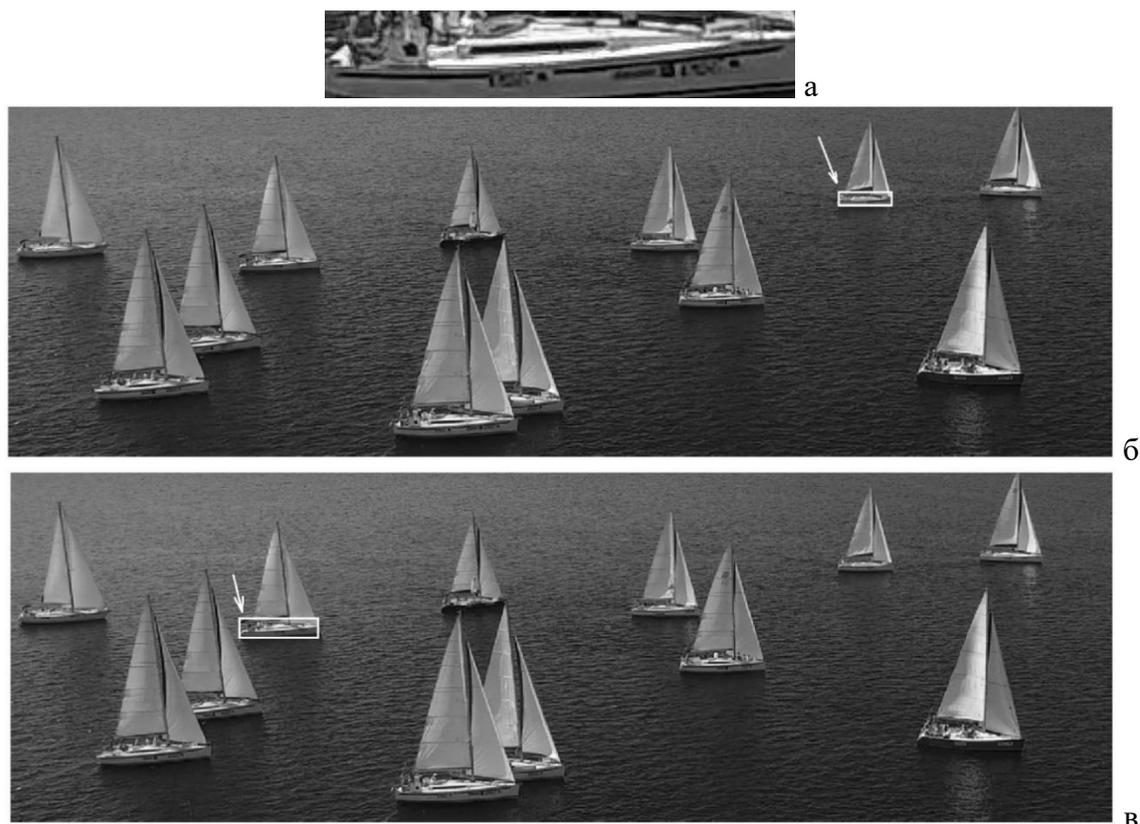


Рис. 1. Выделение на изображении прецедентов различной ширины:

а – исходный прецедент, б – выделение области, соответствующей прецеденту шириной 50 пикселей,  
в – выделение области, соответствующей прецеденту шириной 75 пикселей

Fig. 1. The different widths precedents selection in the image:

а – the original precedent, б – selection of the area corresponding to the precedent with a width of 50 pixels,  
с – selection of the area corresponding to the precedent with a width of 75 pixels

Анализ наблюдаемой сцены (рисунок 1б и рисунок 1в) показывает, что области, выделенные на данных рисунках, соответствуют изображениям объектов, расположенных на различных расстояниях от наблюдателя.

Таким образом, при рассмотренном выше подходе для решения задачи обнаружения на цифровых изображениях объектов, находящихся на различном расстоянии от наблюдателя, существенным является соответствующий выбор размера прецедента (в пикселях).

Оценим зависимость значений размера объекта на изображении (пиксели) в зависимости от расстояния (м) до объекта на наблюдаемой сцене и отдельных характеристик цифровой видеокамеры, применяемой для регистрации изображения в оптико-электронных системах.

Один из подходов сравнения характеристик различных видеокамер основан на вычислении эквивалентного фокусного расстояния (эквивалент 35 мм) [Черноморец и др. 2019; Понин и др., 2020]. Эквивалентное фокусное расстояние (ЭФР) соответствует фокусному расстоянию объектива видеокамеры при использовании светочувствительного элемента размером 24×36 мм (малоформатный кадр пленки шириной 35 мм, «полнокадровая» цифровая фотоматрица). ЭФР позволяет сравнивать характеристики современных цифровых видеокамер, в которых применяются фотоматрицы (фотосенсор) с размерами, отличающимися от 24×36 мм.

В работе рассматриваются характеристики оптико-электронной системы без учета размеров объектива, а также предполагается, что значения эквивалентного фокусного расстояния и расстояния от объектива до плоскости изображения приблизительно равны, что на практике применяется в большинстве вычислений характеристик видеокамеры.

В таблице 1 приведены примеры областей применения в задачах наблюдения видеокамер с различным эквивалентным фокусным расстоянием.



Таблица 1  
 Table 1

Примеры применения в задачах наблюдения видеокамер  
 с различным эквивалентным фокусным расстоянием  
 Examples of the different equivalent focal lengths video cameras application in surveillance tasks

Эквивалентное фокусное расстояние, мм	Тип объектива	Пример области применения
4-16	рыбий глаз	наблюдение за прилегающей территорией, а также в небольших помещениях
10-24	сверх-широкоугольный	наблюдение за прилегающей территорией
24-35	широкоугольный	наблюдение за прилегающей территорией
50 (35-65)	стандартный	наблюдение за прилегающей территорией, а также в помещениях средней площади
65-300 и более	длиннофокусный	Наблюдение вдоль ограждений, в узких помещениях, на больших расстояниях

Для пересчета фактического фокусного расстояния объектива видеокамеры, определяемого его конструктивными особенностями, с фотоматрицей меньших размеров, чем малоформатный кадр, применяется множитель, называемый кроп-фактором [Васин, Баранов, Дворянинов, 2007; Зубец, 2008]. Кроп-фактор  $K_f$  вычисляют как отношение величины диагонали  $d_{35}$  малоформатного кадра  $24 \times 36$  мм ( $d_{35} \approx 43,27$  мм) к величине диагонали  $d_m$  (мм) применяемой фотоматрицы:

$$K_f = d_{35} / d_m. \quad (1)$$

Используя значение кроп-фактора (1), эквивалентное фокусное расстояние  $f$  вычисляется на основании следующего соотношения [Васин, Баранов, Дворянинов, 2007]:

$$f = f_r K_f,$$

где  $f_r$  – фактическое фокусное расстояние объектива.

Обычно для характеристики размера фотоматрицы указывают так называемый типоразмер в виде дробных частей дюйма (величина диагонали  $d_m$  фотоматрицы приблизительно составляет две трети типоразмера), например, 1/2" или 1/2,5" [Иванкин, 2008].

В таблице 2 для некоторых типоразмеров фотоматрицы приведены соответствующие значения ее диагонали, размеров по ширине и высоте, а также кроп-фактор.

Размерность фотоматрицы (количество пикселей по ширине и высоте) определяется количеством и размером применяемых светочувствительных элементов (фотодиодов), размеры которых у различных фотоматриц изменяются от 0,0025 мм до 0,008 мм [Иванкин, 2008].

В работе предлагается анализировать (без потери общности результатов) горизонтальные размеры (ширина) прецедента (пиксели) в соответствии с горизонтальными размерами наблюдаемого объекта (м). Поэтому в работе рассматривается размерность фотоматрицы (количество пикселей) вдоль ее горизонтальной стороны.

На рисунке 2 отображено соответствие между значениями угла обзора  $\alpha$  (рад.) видеокамеры при выбранном эквивалентном фокусном расстоянии  $f$  (мм) видеокамеры, расстоянием  $D$  (мм) от объектива до плоскости изображения, шириной  $m$  ( $m=36$  мм) кадра и шириной  $l_{\max}$  (м) зоны наблюдения, расположенной на расстоянии  $d$  (м) от наблюдателя.

Некоторые характеристики фотоматрицы  
 Some photo matrix characteristics

Типоразмер	Диагональ $d_m$ , мм	Размер $l_1 \times l_2$ , мм	Кроп-фактор $K_f$
13/8" (плёнка 35 мм)	43,27	36 × 24	1
APS-H Canon	33,75	28,1 × 18,7	1,28
APS-C Canon	26,82	22,3 × 14,9	1,61
1,5"	23,4	18,7 × 14,0	1,85
4/3"	21,64	17,3 × 13,0	2
1"	16	12,8 × 9,6	2,7
2/3"	11,85	8,8 × 6,6	3,93
1/2"	8,0	6,4 × 4,8	5,41
1/2,33"	7,63	6,08 × 4,56	5,92
1/2,5"	6,77	5,8 × 4,3	6,2
1/3"	5,64	4,8 × 3,6	7,5
1/4"	4,45	3,6 × 2,7	10

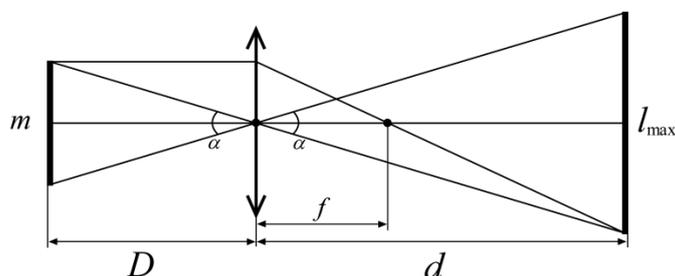


Рис. 2. Соответствие между значениями угла обзора видеокамеры и шириной зоны наблюдения  
 Fig. 2. Correspondence between the video camera viewing angle values and the observation area width

Формула тонкой линзы определяет зависимость между указанными величинами  $d$ ,  $D$  и  $f$ :

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{D} = \frac{1}{f}.$$

Следовательно, справедливо следующее соотношение:

$$D = f \frac{d}{d - f},$$

из которого следует следующее приближенное равенство при условии, что расстояние  $d$  от наблюдаемого объекта до линзы намного больше фокусного расстояния  $f$ :

$$D \approx f \text{ при } d \gg f. \quad (2)$$

На основании соотношения (2) и изображения, приведенного на рисунке 2, имеем:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} &= \frac{m}{2D} = \frac{l_{\max}}{2d} \approx \frac{m}{2f}, \\ m &= 36 \text{ мм}, \end{aligned} \quad (3)$$



где  $\alpha/2$  (рад.) – угол между оптической осью объектива и лучом, соединяющим его оптический центр с краем пленки,  $m$  – ширина кадра (плёнка 35 мм).

Из соотношения (3) следует, что ширина  $l_{\max}$  зоны наблюдения, расположенной на расстоянии  $d$  от наблюдателя, на практике определяется на основании следующего соотношения:

$$l_{\max} = \frac{m}{f} d. \quad (4)$$

Обозначим,  $N$  – количество пикселей по ширине фотоматрицы применяемой видеокамеры. Тогда разрешение  $r_d$  (м/пиксель) объектов на регистрируемом изображении, находящихся на расстоянии  $d$  (м) от наблюдателя, можно вычислить на основании следующего соотношения:

$$r_d = \frac{l_{\max}}{N} = \frac{m}{fN} d. \quad (5)$$

При этом размер  $N_l$  фрагмента (пиксели), содержащего изображение объекта размером  $l$  (м) на расстоянии  $d$  (м), определяется на основании следующего соотношения:

$$N_l = \frac{1}{r_d} l = \frac{fN}{md} l. \quad (6)$$

Соотношение (6) позволяет при заданных характеристиках видеокамеры определить размер прецедента (пиксели), который может быть использован для обнаружения на изображении объекта размером  $l$  (м) на расстоянии  $d$  (м) от наблюдателя (таблица 3).

В таблице 3 приведены значения размеров  $N_l$  изображения объекта (пиксели) от расстояния  $d$  (м) до объекта на наблюдаемой сцене при размерности фотоматрицы  $N=1920$  пикселей (FullHD) и заданном эквивалентном фокусном расстоянии  $f = \{24, 35\}$  мм для объектов различных размеров  $l = \{5, 10, 15\}$  м.

Таблица 3  
Table 3

Размеры изображения объекта (пиксели) при ширине фотоматрицы 1920 пикселей  
 The object image dimensions (pixels) with a photo matrix width of 1920 pixels

Расстояние, м	ЭФР 24 мм			ЭФР 35 мм		
	Размер объекта, м			Размер объекта, м		
	5	10	15	5	10	15
50	128	256	384	187	373	560
100	64	128	192	93	187	280
150	43	85	128	62	124	187
200	32	64	96	47	93	140
250	26	51	77	37	75	112
300	21	43	64	31	62	93
350	18	37	55	27	53	80
400	16	32	48	23	47	70
450	14	28	43	21	41	62
500	13	26	38	19	37	56

Данные, приведенные в таблице 3, могут служить основой для выбора размеров прецедента в задаче обнаружения объектов.

На рисунке 3 в соответствии с соотношением (6), а также данными, приведенными в таблице 3, показана зависимость размеров  $N_l$  изображения объекта (пиксели) от расстояния  $d$  (м) до объекта на наблюдаемой сцене для объектов различных размеров  $l = \{5, 10, 15\}$  м

при размерности фотоматрицы  $N=1920$  пикселей и заданном эквивалентном фокусном расстоянии  $f=24$  мм (рисунок 3а), а также при  $f=35$  мм (рисунок 3б).

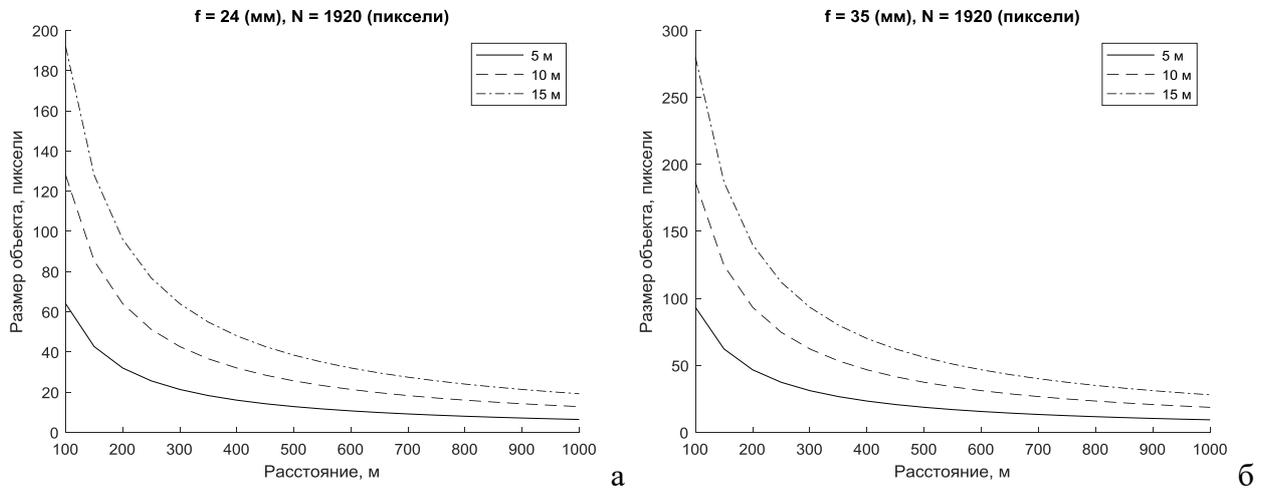


Рис. 3. Размеры объекта (пиксели) на изображении в зависимости от расстояния до объекта  
Fig. 3. The object size (pixels) in the image depending on the distance to the object

Графики, приведенные на рисунке 3, показывают, что с увеличением величины фокусного расстояния (рисунки 3а и 3б) увеличивается соответствующий размер объекта (пиксели) на изображении, а также что с увеличением расстояния до наблюдаемого объекта размер объекта (пиксели) уменьшается нелинейно.

На рисунке 4 приведены графики зависимости размеров  $N_i$  изображения объекта (пиксели) от различных значений эквивалентного фокусного расстояния  $f$  видеокамеры при заданных расстоянии  $d=500$  м до объекта на наблюдаемой сцене и размерности фотоматрицы  $N=1920$  пикселей для объектов различных размеров  $l = \{5, 10, 15\}$  м.

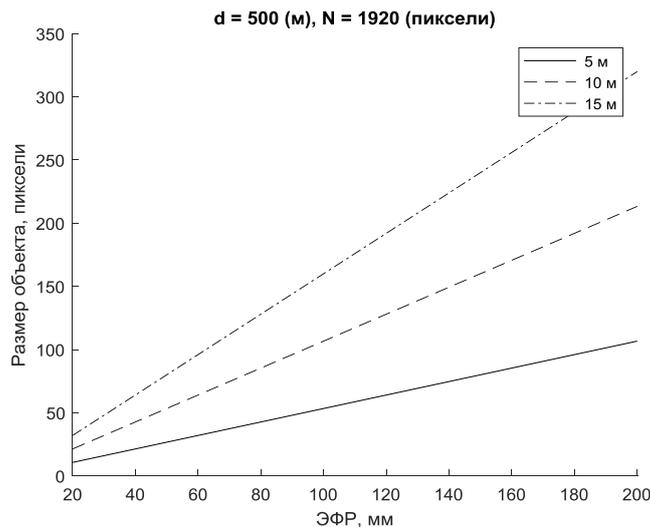


Рис. 4. Размеры объекта (пиксели) на изображении в зависимости от эквивалентного фокусного расстояния  
Fig. 4. The object size (pixels) in the image depending on the equivalent focal length

Использование соотношения (6), а также данных, приведенных в таблице 3, позволяет сформулировать алгоритм решения поставленной выше задачи обнаружения.

Алгоритм обнаружения фрагмента изображения, соответствующего объекту, известного размера и расположенному на заданном расстоянии от наблюдателя, при известных характеристиках видеокамеры состоит в следующем.

1. Исходные данные: исходный прецедент искомого объекта, изображение.

2. Вычислить размеры  $N_i$  (пиксели) прецедента, соответствующего объекту размером  $l$  (м) и расположенному на расстоянии  $d$  (м) от наблюдателя, при известных характеристиках видеокамеры: эквивалентное фокусное расстояние  $f$  (мм), размерность фотоматрицы  $N$  (пиксели).

Например (рисунок 5), для объекта, размером приблизительно 12 м и расположенному на расстоянии 195 м от наблюдателя, при эквивалентном фокусном расстоянии видеокамеры 35 (мм) и ширине фотоматрицы 1920 пикселей ширина соответствующего прецедента должна равняться 115 пикселей.

3. Выполнить масштабирование исходного прецедента (размер модифицированного прецедента должен совпадать с полученными на шаге 2 значениями).

Для рассматриваемого примера ширина прецедента после масштабирования исходного прецедента, приведенного на рисунке 1а, равняется 115 пикселей.

4. Решить задачу обнаружения на изображении фрагмента, соответствующего полученному прецеденту, на основе вычисления взаимной корреляции данного прецедента и анализируемого изображения.

Пример решения поставленной задачи обнаружения при приведенных в примере на шаге 2 значениях показан на рисунке 5 (выделенный фрагмент). На рисунке отображена область, размерностью 1080×345 пикселей, кадра видеозаписи, размерностью 1920×1080 пикселей, в которой находится изображение искомого объекта.



Рис. 5. Фрагмент изображения, соответствующего объекту, размером приблизительно 12 м и расположенному на расстоянии 195 м от наблюдателя, при известных характеристиках видеокамеры  
Fig. 5. The image fragment corresponding to an object of approximately 12 m size and located at a distance of 195 m from the observer, with the known video camera characteristics

Таким образом, в работе показана значимость соответствующего выбора размеров прецедента в задаче обнаружения объектов на изображениях на основе вычисления взаимной корреляции изображения и прецедента. Предложена процедура определения размеров прецедента в пикселях, соответствующего наблюдаемому объекту заданных размеров на заданном расстоянии при известных характеристиках видеокамеры. Приведены графики зависимости размера прецедента (пиксели) от расстояния до объекта, фокусного расстояния видеокамеры при заданных размерах объекта и значений характеристик видеокамеры. Приведено описание алгоритма обнаружения на изображении объекта заданного размера, расположенного на заданном расстоянии от наблюдателя, при указанных характеристиках видеокамеры.

### Список литературы

- Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И. 2008. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. М.: Радиотехника, 176.
- Бакулев П.А., Степин В.М. 1986. Методы и устройства селекции движущихся целей. М.: Радио и связь, 286.
- Вагнер В., Вагнер А. 2016. Способы параметризации движения в системах видеонаблюдения. LAP LAMBERT Academic Publishing, 52.
- Васин Н.Н., Баранов А.М., Дворянинов П.Ю. 2007. Метод межкадровой разности для измерительных систем. Радиотехника и связь: материалы четвертой междунар. науч.-техн. конф., Саратов, 27–28 июня 2007 г. М-во образования и науки Рос. Федерации, Сарат. гос. техн. ун-т; отв. ред. В.А. Коломейцев. Саратов, 67–71.
- Гонсалес Р., Вудс Р. 2012. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, исправленное и дополненное. Москва: Техносфера, 1104 с.
- Зубец А.М. 2008. Патент на изобретение RU 2319188 С2, Способ и устройство для панорамной фотосъемки. 10.03.2008. Заявка № 2005138891/28 от 14.12.2005.
- Иванкин Е.Ф. 2008. Информационные системы с апостериорной обработкой результатов наблюдений. М., Горячая Линия – Телеком, 168.
- Понин О.В., Галявов И.Р., Симонов М.А., Симонов П.В. 2020. Патент на изобретение 2731526 С1, Способ измерения фокусного расстояния объектива. 03.09.2020. Заявка № 2020100024 от 09.01.2020.
- Черноморец А.А., Болгова Е.В., Заливин А.Н., Олейник И.И. 2019. О комплексной обработке оптических сигналов в задаче обнаружения объектов. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 46 (4): 764–773. DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-764-773
- Черноморец А.А., Кунгурцев С.А., Болгова Е.В. 2020. О геометрии области поиска объектов на основе радиолокационных измерений. Сборник материалов VIII Международной научно-технической конференции Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП – 2020). Белгород. 130–136.
- Шитова О.В., Пухляк А.Н., Дроб Е.М. 2014. Анализ методов сегментации текстурных областей изображений в системах обработки изображений. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 8(179). 182–188.
- Schindler K., Förstner W. 2021. Photogrammetry. In: Ikeuchi K. (eds) Computer Vision. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-63416-2\\_139](https://doi.org/10.1007/978-3-030-63416-2_139)
- Voronin, E.G. 2022. Numerical differentiation in photogrammetry equalization tasks. Geodesy and Cartography. 981. 44–55. 10.22389/0016-7126-2022-981-3-44-55.

### References

- Alpatov B.A., Babayan P.V., Balashov O.E., Stepashkin A.I. 2008. Metody avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob'yektov. Obrabotka izobrazheniy i upravleniye [Methods of automatic detection and tracking of objects. Image processing and management]. M.: Radiotekhnika, 176.
- Bakulev P.A., Stepin V.M. 1986. Metody i ustroystva selektsii dvizhushchikhsya tseley [Methods and devices for the selection of moving targets]. M.: Radio i svyaz', 286.
- Vagner V., Vagner A. 2016. Sposoby parametrizatsii dvizheniya v sistemakh videonablyudeniya [Methods of parameterization of motion in video surveillance systems]. LAP LAMBERT Academic Publishing, 52. Schindler K., Förstner W. 2021. Photogrammetry. In: Ikeuchi K. (eds) Computer Vision. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-63416-2\\_139](https://doi.org/10.1007/978-3-030-63416-2_139)
- Vasin N.N., Baranov A.M., Dvoryaninov P.YU. 2007. Metod mezhkadrovoy raznosti dlya izmeritel'nykh system [Interframe difference method for measuring systems]. Radiotekhnika i svyaz': materialy chetvertoy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [Radio engineering and communications: materials of the fourth int. scientific and technical Conf.], Saratov, 27–28 iyunya 2007 g. M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federatsii, Sarat. gos. tekhn. un-t; отв. red. V. A. Kolomeytsev [Saratov, June 27–28, 2007. Moscow University of Education and Science. Federation, Sarat. state tech. un-t; open ed. V.A. Kolomeitsev], 67–71.
- Gonzalez R., Woods R. 2012. Digital image processing. 3rd edition, revised and supplemented. Moscow: Technosphere, 1104 p.



- Zubets A.M. 2008. Patent for an invention RU 2319188 C2, Method and device for panoramic photography. 10.03.2008. Application № 2005138891/28 from 14.12.2005.
- Ivankin Ye.F. 2008. Informatsionnyye sistemy s aposteriornoй obrabotkoy rezul'tatov nablyudeniy [Information systems with a posteriori processing of observation results]. M., Goryachaya Liniya – Telekom, 168.
- Ponin O.V., Galyavov I.R., Simonov M.A., Simonov P.V. 2020. Patent for an invention 2731526 C1, Method of measuring the focal length of the lens. 03.09.2020. Application № 2020100024 from 09.01.2020.
- Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Zalivin A.N., Oleynik I.I. 2019. A optical signals combined processing in the object detection task. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. 46 (4): 764–773 (in Russian). DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-764-773
- Chernomorets A.A., Kungurtsev S.A., Bolgova E.V. 2020. On the geometry of the object search area based on radar measurements. Information Technologies in Science, Education and Production (ITSEP-2020): collection of works of the VIII International Conference on Science and Technology (Belgorod, 24–25 September, 2020) Belgorod. 130-136.
- Shytova O.V., Pukhlyak A.N., Drob E.M. 2014. Analysis of methods of segmentation texture regions in the systems of image processing. Belgorod State University Scientific Bulletin. Series: History. Political science. Economics. Information technologies. 8(179). 182–188.
- Schindler K., Förstner W. 2021. Photogrammetry. In: Ikeuchi K. (eds) Computer Vision. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-63416-2\\_139](https://doi.org/10.1007/978-3-030-63416-2_139)
- Voronin, E.G. 2022. Numerical differentiation in photogrammetry equalization tasks. Geodesy and Cartography. 981. 44–55. 10.22389/0016-7126-2022-981-3-44-55.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Петров Денис Васильевич**, кандидат технических наук, технический директор, общество с ограниченной ответственностью «Манатекс», Белгород, Россия

**Denis V. Petrov**, Candidate of Technical Sciences, Chief Technical Officer, Limited Liability Company "Manateks", Belgorod, Russia

**Жиляков Евгений Георгиевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Evgeny G. Zhilyakov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Черноморец Дарья Андреевна**, аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Daria A. Chernomorets**, Postgraduate student of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies of Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Болгова Евгения Витальевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Evgeniya V. Bolgova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Черноморец Андрей Алексеевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Andrey A. Chernomorets**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia



# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

## SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 681.51

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-349-355

### Метод оценки эффективности режимов сепарации нефти, газа и пластовой воды

**Паршуков А.Н.**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,  
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д.38  
E-mail: anparshukov@mail.ru

**Аннотация.** Проблема дегазации нефти при подготовке её к транспортировке по магистральным нефтепроводам является наиболее важной. Процесс дегазации (сепарации) добытой нефти на месторождениях протекает в установках подготовки нефти (УПН). Существующая литература, посвящённая проблеме дегазации, очень обширна, однако её анализ показал, что основное внимание уделяется вопросам поиска оптимальных режимов работы отдельных аппаратов УПН (нагревательных печей, деэмульгаторов, сепараторов 1-й ступени, сепараторов 2-й ступени, и т. д.). Таким образом, вопрос поиска оптимального режима для технологического процесса сепарации остается нерешённым. Целью настоящего исследования является разработка математической модели трехступенчатого процесса сепарации в УПН и метода оценки эффективности режимов сепарации нефти, газа и пластовой воды. Для составления математической модели технологического процесса сепарации используются уравнения материального баланса для жидкой и газовой фаз нефти. Уравнение теплового баланса исключено из математической модели, поскольку процесс сепарации протекает при постоянной температуре. Полученные в статье результаты позволяют по контролируемым параметрам технологического процесса в режиме реального времени выбирать оптимальный режим работы для установки подготовки нефти, что на практике приведет к уменьшению объема некондиционной нефти и сокращению затрат на её повторную сепарацию.

**Ключевые слова:** сепарация, установка подготовки нефти, математическое моделирование, оптимальное управление, экономичный режим эксплуатации

**Для цитирования:** Паршуков А.Н. 2022. Метод оценки эффективности режимов сепарации нефти, газа и пластовой воды. Экономика. Информатика, 49(2): 349–355. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-349-355

### Method for Evaluating the Efficiency of Oil, Gas and Reservoir Water Separation Modes

**Andrej N. Parshukov**

Tyumen Industrial University  
38 Volodarskogo St, Tyumen, 625000, Russia  
E-mail: anparshukov@mail.ru

**Abstract.** The problem of oil degassing when preparing it for transportation through trunk pipelines is the most important. The process of degassing (separation) of extracted oil in the fields takes place in oil treatment plants (UPN). The existing literature devoted to the problem of degassing is very extensive, but its analysis has shown that the main attention is paid to the search for optimal modes of operation of individual UPN devices (heating furnaces, demulsifiers, separators of the 1st stage, separators of the 2nd stage, etc.). Thus, the question of finding



the optimal mode for the separation process remains unresolved. The purpose of this study is to develop a mathematical model of a three-stage separation process in the UPN and a method for evaluating the effectiveness of separation modes of oil, gas and reservoir water. To compile a mathematical model of the separation process, the material balance equations for the liquid and gas phases of oil are used. The heat balance equation is excluded from the mathematical model, since the separation process proceeds at a constant temperature. The results obtained in the article allow choosing the optimal operating mode for the oil treatment plant in real time according to the controlled parameters of the technological process, which in practice will lead to a reduction in the volume of substandard oil and reduce the cost of its re-separation.

**Keywords:** separation, oil treatment plant, mathematical modeling, optimal control, economical operation mode

**For citation:** Parshukov A.N. 2022. Method for Evaluating the Efficiency of Oil, Gas and Reservoir Water Separation Modes. Economics. Information technologies, 49(2): 349–355 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-349-355

## Введение

Проблема дегазации нефти при подготовке её к транспортировке по магистральным нефтепроводам является наиболее важной, что подтверждается, например, в работах [Гороян, 1963; Маринин и др., 1977; Абрамова, 1977; Крюков и др., 1979; Байков и др., 1981; Абрамова, 1985; Абрамова и др., 1986; Репин и др., 1986; Амерханов и др., 1988; Лесухин и др., 1988; Ямпольский и др., 2009; Еремин и др., 2012; Шаймарданов, 2013]. Добытая из нефтеносного пласта нефть содержит растворённый попутный газ, воду и механические примеси. Поскольку давление на устье скважины и в транспортной системе значительно меньше давления в пласте, из нефти выделяется попутный газ. Выделяющийся газ может привести к образованию газовой пробки (и тем самым создаст аварийную ситуацию).

Процесс дегазации (сепарации) нефти протекает в установках подготовки нефти (УПН). УПН предназначена для приема продукции нефтяных скважин, ее предварительного разделения на нефть, попутный нефтяной газ и пластовую воду и последующей подготовки нефти до товарного качества. Процесс дегазации (сепарации) скважинной продукции выполняется на нескольких ступенях сепарации. Разделение процесса на ступени обусловлено необходимостью минимизации потерь широкой фракции легких углеводородов, так как при одноступенчатом процессе сепарации значительная часть легких углеводородов уносится восходящим потоком выделяющегося газа, что существенно влияет на объем товарной нефти на выходе УПН [Леонтьев и др., 2012].

Анализ работ [Ямпольский и др., 2009; Еремин и др., 2012; Леонтьев и др., 2012; Шаймарданов, 2013; Бортников и др., 2015; Саликаев и др., 2016; Галлямов и др., 2017; Савельева, 2019; и др.] свидетельствует, что задача поиска оптимального технологического режима работы УПН (с привязкой к конкретному объекту нефтедобычи) относится к нерешённым.

В данной работе для оптимизации режима работы установки разработана математическая модель процесса трехступенчатой сепарации УПН.

## Математическая модель процесса сепарации

Для корректного построения математической модели будем считать, что в процессе сепарации:

- 1) достигнуто состояние равновесия;
- 2) процесс сепарации происходит при постоянной температуре.

Соответственно, математическая модель процесса сепарации должна включать уравнение материального баланса для жидкой и газовой фазы. Уравнение материального баланса для процесса дегазации на  $i$ -й ступени сепарации ( $i = 1, 2, 3$ ) можно представить в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{V}_F(i) = W_{IN}(i) - W_{OUT}(i), \\ W_{OUT}(i) = \lambda(i)F(i)\theta(i)\sqrt{\rho g H(i)} \\ W_G(i) = (1 - \beta) \cdot \rho \cdot W_{IN}(i) \cdot \Gamma \cdot 10^3 \left( \frac{P_0}{P(i)} \cdot \frac{T}{T_0} \right), \end{array} \right. \quad (1)$$

где

$W_{IN}(i)$  – входной поток газожидкостной смеси, м<sup>3</sup>/с;

$W_{IN}^0(i)$  – среднее значение  $W_{IN}(i)$ , м<sup>3</sup>/с;

$W_{OUT}(i)$  – регулируемый поток жидкости на выходе, м<sup>3</sup>/с;

$V_F(i)$  – объем жидкости в сепараторе, м<sup>3</sup>;

$W_G(i)$  – газовый поток, м<sup>3</sup>/с;

$\rho$  – плотность входного потока газожидкостной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta \in [0, 1]$  – обводнённость (доля воды во входном потоке установки подготовки

нефти  $W_{IN}(1)$ );

$\Gamma$  – газовый фактор (объем газа, выделяющийся из 1 куб. м. жидкости при стандартных условиях: температуре 293 K<sup>0</sup> и давлении 0,101 МПа), м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$P(i)$  – давление газа в сепараторе, Па;

$P_0 = 0,101$  МПа – стандартное (атмосферное) давление;

$T$  – температура в сепараторе, K<sup>0</sup>;

$T_0 = 293$  K<sup>0</sup> – стандартная температура;

$H(i)$  – высота уровня жидкости в сепараторе, м;

$H_0(i)$  – высота уровня жидкости в сепараторе в установившемся режиме, м;

$S(i)$  – площадь горизонтального сечения сепаратора, м<sup>2</sup>.

Первое уравнение системы (1) является уравнением материального баланса для жидкой фазы внутри сепаратора  $i$ -й ступени. Согласно технологии подготовки нефти входной поток газожидкостной смеси  $W_{IN}(1)$  для первой ступени сепарации является нерегулируемым. Второе уравнение системы (1), описывающее выходной поток  $W_{OUT}(i)$ , представляет собой закон истечения Торричелли:

$$W_{OUT}(i) = \lambda(i)F(i)\theta(i)\sqrt{\rho g H(i)},$$

где

$\lambda(i)$  – коэффициент, зависящий от конструкции сливного отверстия;

$F(i)$  – площадь поперечного сечения сливной трубы, м<sup>2</sup>;

$\theta(i) \in [0, 1]$  – степень открытия регулируемого вентиля сливной трубы (значение 0

соответствует закрытому, 1 – полностью открытому вентилю);

$g = 9,807$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения.

Третье уравнение в (1) представляет закон выделения газа, при постоянных давлении  $P(i)$  и температуре  $T$  [Лутошкин, 1977, с. 11].

Систему уравнений (1) необходимо дополнить следующими уравнениями

$$\begin{cases} W_{IN}(2) = W_{OUT}(1), \\ W_{IN}(3) = W_{OUT}(2). \end{cases} \quad (2)$$

Уравнения (1)–(2) описывают материальный баланс газовой и жидкой фаз в трехступенчатой УПН.

Оценивать эффективность технологического режима работы установки будем по величине



$$\chi = \frac{\sum_{i=1}^3 W_G(i)}{W_G^0},$$

где

$W_G^0$  – количество газа, поступающее в единицу времени вместе с нефтью на вход в установку (потенциально доступное для извлечения), м<sup>3</sup>/с;

$W_G(i)$  – количество газа, выделяющееся в сепараторе  $i$ -й ступени в единицу времени, м<sup>3</sup>/с.

Общее количество газа, выделяющееся из нефти за бесконечное время при нормальной температуре и атмосферном давлении, равно

$$W_G^0 = \Gamma \cdot W_{IN}(1).$$

Количество газа, выделяющееся в сепараторе, определяется из уравнения состояния газа [Справочник химика, 1968, с. 22]:

$$W_G(i) = S(i) \cdot v_G = (\Gamma - \alpha \cdot P(i)) \cdot \left( \frac{P_0}{P(i)} \cdot \frac{T}{T_0} \right) \cdot W_{IN}(i),$$

где

$v_G$  – скорость подъема газа, м/с;

$\alpha$  – коэффициент растворимости газа в нефти при температуре  $T$  и давлении  $P(i)$ , Па<sup>-1</sup>.

Следовательно, формула для оценки эффективности работы УПН принимает вид:

$$\chi = \frac{\sum_{i=1}^3 (\Gamma - \alpha \cdot P(i)) \cdot \left( \frac{P_0}{P(i)} \cdot \frac{T}{T_0} \right) \cdot W_{IN}(i)}{\Gamma \cdot W_{IN}(1)}. \quad (3)$$

Следует отметить, что все значения, входящие в формулу (3), непосредственно измеряются в процессе эксплуатации в режиме реального времени. Таким образом, критериальную функцию (3) можно использовать при выборе оптимальных режимов работы УПН.

### Результаты экспериментов и их обсуждение

Моделирование системы уравнений (1)–(3) выполнялось в программе Matlab Simulink – среды имитационного моделирования, позволяющей в графическом виде с помощью готовых библиотек и блоков моделировать динамические системы. При моделировании решена система (1)–(2) для каждой из ступеней сепарации. Исходные данные для расчета следующие:

1. Сепараторы представляют собой аппараты цилиндрической формы, ось симметрии которых ориентирована горизонтально, с диаметром  $D = 1,2$  м и длиной  $L = 3,5$  м.
2. Температура в сепараторах  $T = 293$  К<sup>0</sup>.
3. Расход смеси на входе в сепаратор 1-й ступени  $W_{IN}(1) = 0,114$  м<sup>3</sup>/мин.
4. Плотность входного потока смеси  $\rho = 1005$  кг/м<sup>3</sup>.
5. Газовый фактор  $\Gamma = 500$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.
6. Площадь  $S(i)$  горизонтального сечения сепараторов равна 4,2 м<sup>2</sup>.
7. Площадь  $F(i)$  поперечного сечения труб примем равной 0,031 м<sup>2</sup>.
8. Стабилизируемое значение уровня жидкости в сепараторах  $H_0 = 0,6$  м.
9. Коэффициенты  $\lambda(i) = 0,5$ .

Задача решалась для каждой ступени сепарации последовательно методом полного перебора по параметрам  $P(i) \in [0,80, 0,10]$  МПа и  $\theta(i) \in [0, 1]$ .

Построенная модель позволяет получить данные по расходам разделённой смеси жидкости и газа для каждой ступени сепарации. Результаты моделирования были использованы для оптимизации технологического процесса сепарации, критерий оптимизации – максимизация выделения газа из входной газожидкостной смеси.

Проведен поиск оптимальных значений абсолютного давления в сепараторах на 1-й, 2-й и 3-й ступенях. Максимальное выделение газа ( $\chi = 0,998$ ) обеспечивается при  $P(1) = 0,75$  МПа,  $P(2) = 0,27$  МПа,  $P(3) = 0,105$  МПа.

### Заключение

Задача сепарации нефти при подготовке её к транспортировке по магистральным нефтепроводам исследователями считается наиболее важной. Процесс сепарации добытой нефти на месторождениях протекает в УПН. Существующая литература, посвящённая проблеме сепарации, очень обширна, однако её анализ показал, что основное внимание уделяется вопросам поиска оптимальных режимов работы отдельных аппаратов УПН. Таким образом, вопрос поиска оптимального режима для технологического процесса сепарации относится к нерешённым.

В настоящей статье разработана новая математическая модель трехступенчатого процесса сепарации в УПН, дополненная методом оценки эффективности режимов сепарации (система уравнений (1)–(3)). Для составления математической модели технологического процесса сепарации использовались уравнения материального баланса для жидкой и газовой фаз нефти. Уравнение теплового баланса не включено в математическую модель, поскольку процесс сепарации протекает при постоянной температуре. Полученные в статье результаты позволяют по контролируемым параметрам технологического процесса в режиме реального времени выбирать оптимальный режим работы для УПН, что на практике приведет к уменьшению объема некондиционной нефти и сокращению затрат на её повторную сепарацию. Эффективность разработанной модели иллюстрируется примером численного моделирования поиска оптимального режима работы УПН.

### Список литературы

- Абрамова А.А. 1977. Особенности процесса выделения газа из эмульсионных нефтей. В сб. тр.: Сбор, подготовка нефти и воды на промыслах Западной Сибири и Севера. Уфа: ВНИИСПТнефть, Вып. XIX: 95–99.
- Абрамова А.А. 1985. Разделение газоводонефтяной смеси. В сб. тр.: Сбор, подготовка нефти и воды на промыслах Западной Сибири и Севера. Уфа: ВНИИСПТнефть: 55–59.
- Абрамова А.А., Гущина Л.А. 1986. К расчету газонефтяных сепараторов при работе на обводненных нефтях. В сб. тр.: Промысловый сбор и подготовка аномальных нефтей. Уфа: ВНИИСПТнефть: 14–16.
- Амерханов И.М., Тронов В.П., Шаймарданов Р.А. 1988. Как повысить производительность сепараторов при обработке высокопенных нефтей. Нефтяное хозяйство, 8: 47–49.
- Байков Н.М., Позднышев Т.Н., Мансуров Р.И. 1981. Сбор и промысловая подготовка нефти, газа и воды. М., Недра, 264 с.
- Бортников А.Е., Кордик К.Е., Мороз В.Н. и др. 2015. О влиянии изменения температурного режима промысловой сепарации на величину газового фактора нефти. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 9: 81–86.
- Галлямов В.Р., Колчин А.В., Вадулина Н.В. и др. 2017. Обеспечение безопасности работы при подготовке сырого газа методом низкотемпературной сепарации. Нефтегазовое дело, 4: 125–139.
- Гороян В.И. 1963. Изучение процессов разгазирования нефти. М., Гостоптехиздат, 107 с.
- Еремин Ал.Н., Еремин Ан.Н., Еремин Н.А. 2012. Управление разработкой интеллектуальных месторождений нефти и газа. В 2-х кн. Кн.2. М., РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 165 с.
- Крюков В.А., Абрамова А.А., Ганзя М.Г. 1979. Влияние вязкости нефти и газового фактора на процесс сепарации. РНТС: Нефтепромысловое дело, 11: 34–36.
- Леонтьев С.А., Марченко А.Н., Фоминых О.В. 2012. Обоснование рациональных технологических параметров подготовки скважинной продукции Вынгапуровского месторождения. Нефтегазовое дело, 3: 211–220.
- Лесухин С.П., Соколов А.Г., Позднышев Г.Н. 1988. Стабилизация нефти методом многоступенчатой сепарации с применением отдувки. Нефтяное хозяйство, 8: 43–46.



- Лутошкин Г.С. 1977. Сбор и подготовка нефти, газа и воды. М., Недра, 192 с.
- Маринин Н.С., Савватеев Ю.Н., Кирилов Н.В. и др. 1977. Исследование по совершенствованию сбора и сепарации нефти. Нефтяное хозяйство, 8: 67–69.
- Репин Н.Н., Карамышев В.Г., Юсупов О.М. и др. 1986. Исследование работы сепаратора для интенсификации газо-водоотделения. Нефтяное хозяйство, 12: 54–56.
- Савельева Н.Н. 2019. Совершенствование технологического оборудования системы сбора и подготовки скважинной продукции. Современные наукоёмкие технологии, 2: 138–142.
- Саликаев Д.А., Гумеров О.А. 2016. Исследование процесса сверхзвуковой сепарации попутного нефтяного газа с помощью программного комплекса Unisim Design R400. Нефтегазовое дело, 2: 151–189.
- Справочник химика. 1968. Т. 5. Под ред. П.Б. Никольского [и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград, Химия, 976 с.
- Шаймарданов В.Х. 2013. Процессы и аппараты технологий сбора и подготовки нефти и газа на промыслах. Под ред. В.И. Кудинова. М. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 508 с.
- Ямпольский В.З., Новиков А.А., Хамухин А.А., Марчуков А.В. 2009. Перспективы оптимизации работы установок подготовки нефти на примере компании ТНК-ВР. Нефтегазовые технологии, 8: 2–4.

### References

- Abramova A.A. 1977. Osobennosti processa vydeleniya gaza iz emul'sionnyh neftej [Features of the process of gas extraction from emulsion oils]. In the collection of works: Sbor, podgotovka neftei i vody na promyslah Zapadnoj Sibiri i Severa. Ufa: VNIISPTneft', T. XIX: 95–99.
- Abramova A.A. 1985. Razdelenie gazovodonefityanoj smesi [Separation of the gas-oil mixture]. In the collection of works: Sbor, podgotovka neftei i vody na promyslah Zapadnoj Sibiri i Severa. Ufa: VNIISPTneft': 55–59.
- Abramova A.A., Gushchina L.A. 1986. K raschetu gazonefityanyh separatorov pri rabote na obvodnennyh neftyah [To the calculation of gas-oil separators when working on watered oil]. In the collection of works: Promyslovyy sbor i podgotovka anomal'nyh neftej. Ufa: VNIISPTneft': 14–16.
- Amerhanov I.M., Tronov V.P., SHajmardanov P.A. 1988. Kak povysit' proizvoditel'nost' separatorov pri obrabotke vysokopenistyh neftej [How to increase the productivity of separators in the processing of high-foamy oils]. Neftyanoe hozyajstvo, 8: 47–49.
- Bajkov N.M., Pozdnyshev T.N., Mansurov R.I. 1981. Sbor i promyslovaya podgotovka neftei, gaza i vody [Collection and field preparation of oil, gas and water]. М., Nedra, 264 p.
- Bortnikov A.E., Kordik K.E., Moroz V.N. et. al. 2015. O vliyanii izmeneniya temperaturnogo rezhima promyslovoj separacii na velichinu gazovogo faktora neftei [On the effect of changes in the temperature regime of field separation on the value of the gas factor of oil]. Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyh i gazovyh mestorozhdenij, 9: 81–86.
- Gallyamov V.R., Kolchin A.V., Vadulina N.V., et. al. 2017. Obespechenie bezopasnosti raboty pri podgotovke syrogo gaza metodom nizkotemperaturnoj separacii [Ensuring the safety of work during the preparation of raw gas by low-temperature separation]. Neftgazovoe delo, 4: 125–139.
- Goroyan V.I. 1963. Izuchenie processov razgazirovaniya neftei [Study of oil degassing processes]. М., Gostoptekhizdat, 107 p.
- Eremin A.I., Eremin A.N., Eremin N.A. 2012. Upravlenie razrabotkoj intellektual'nyh mestorozhdenij neftei i gaza [Management of the development of intelligent oil and gas fields]. In 2 toms. T.2. М., RGU neftei i gaza imeni I.M. Gubkina, 165 p.
- Kryukov V.A., Abramova A.A., Ganzya M.G. 1979. Vliyanie vyazkosti neftei i gazovogo faktora na process separacii [Influence of oil viscosity and gas factor on the separation process]. RNTS: Neftpromyslovoe delo, 11: 34–36.
- Leont'ev S.A., Marchenko A.N., Fominyh O.V. 2012. Obosnovanie racional'nyh tekhnologicheskikh parametrov podgotovki skvazhinnoj produkcii Vyngapurovskogo mestorozhdeniya [Substantiation of rational technological parameters of preparation of borehole products of the Vyngapurovskoye field]. Neftgazovoe delo, 3: 211–220.
- Lesuhin S.P., Sokolov A.G., Pozdnyshev G.N. 1988. Stabilizaciya neftei metodom mnogostupenchatoj separacii s primeneniem otduvki [Stabilization of oil by multi-stage separation with the use of blow-off]. Neftyanoe hozyajstvo, 8: 43–46.



- Lutoshkin G.S. 1977. Sbor i podgotovka nefiti, gaza i vody [Collection and preparation of oil, gas and water]. M., Nedra, 192 p.
- Marinin N.S., Savvateev YU.N., Kirilov N.V. et al. 1977. Issledovanie po sovershenstvovaniyu sbora i separacii nefiti [Research on improving oil collection and separation]. Neftyanoe hozyajstvo, 8: 67–69.
- Repin H.H., Karamyshev V.G., YUsupov O.M. et al. 1986. Issledovanie raboty separatora dlya intensivatsii gazo-vodootdeleniya [Investigation of the separator operation for the intensification of gas and water separation]. Neftyanoe hozyajstvo, 12: 54–56.
- Savel'eva N.N. 2019. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo oborudovaniya sistemy sbora i podgotovki skvazhinnoj produktsii [Improvement of technological equipment for the collection and preparation of borehole products]. Sovremennye naukoymkie tekhnologii, 2: 138–142.
- Salikaev D.A., Gumerov O.A. 2016. Issledovanie processa sverkhzvukovoj separacii poputnogo neftyanogo gaza s pomoshch'yu programmnoho kompleksa Unisim Design R400 [Investigation of the process of supersonic separation of associated petroleum gas using the Unisim Design R400 software package]. Neftegazovoe delo, 2: 151–189.
- Spravochnik himika [Chemist's Handbook]. 1968. T. 5. Red. P.B. Nikol'skij. Leningrad, Himiya, 976 p.
- SHajmardanov V.H. 2013. Processy i apparaty tekhnologij sbora i podgotovki nefiti i gaza na promyslah [Processes and devices of technologies for collecting and preparing oil and gas in the fields] / red. V.I. Kudinov. M. – Izhevsk, NIK «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika», Institut komp'yuternyh issledovaniy, 508 p.
- YAmпол'skij V.Z., Novikov A.A., Hamuhin A.A., Marchukov A.V. 2009. Perspektivy optimizatsii raboty ustanovok podgotovki nefiti na primere kompanii TNK-BP [Prospects for optimizing the operation of oil treatment plants on the example of TNK-BP]. Neftegazovye tekhnologii, 8: 2–4.

**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

**Паршуков Андрей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроэнергетики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Andrej N. Parshukov**, Candidate of Technical Sciences, Docent, Docent kaf. Electric Power Engineering of Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia



УДК 004.8

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-356-374

## Оценивание эффективности функционирования диалоговой системы на основе применения нечеткого вывода с нейросетевой настройкой

<sup>1)</sup> Махди Т.Н., <sup>2)</sup> Игитян Е.В., <sup>2)</sup> Польщиков К.А., <sup>2)</sup> Корсунов Н.И.

<sup>1)</sup> Университет Мустансирия, Ирак, 10001, г. Багдад, ул. Аль-Кадисия

<sup>2)</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: tareq.nasser.m@gmail.com, medvedeva\_e@bsu.edu.ru, polshchikov@bsu.edu.ru,  
korsunov@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Представлены результаты исследования, направленные на совершенствование процесса оценивания эффективности функционирования диалоговых систем на основе разработки моделей нечеткого вывода и нейросетевого обучения. Обоснована актуальность разработки средств анализа выполнения вопросно-ответных функций программными средствами, именуемыми виртуальными ассистентами. В качестве величин для оценивания эффективности функционирования диалоговых систем предложено использовать частные показатели, характеризующие точность, лаконичность и полноту ответов на заданные вопросы. Результирующая оценка эффективности определяется значением обобщенного показателя, вычисляемого с учетом значений частных показателей. Разработан алгоритм вычисления обобщенного показателя на основе применения нечеткого вывода. Необходимые для его выполнения значения параметров функций принадлежности и индивидуальных выводов нечетких правил предложено вычислять на основе алгоритма нейросетевого обучения. Представлены результаты экспериментальных исследований по оцениванию эффективности функционирования диалоговых систем на основе предложенных алгоритмов.

**Ключевые слова:** диалоговая система, виртуальный ассистент, вопросно-ответная система, оценивание эффективности, нечеткий вывод, нейросетевое обучение

**Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90083.

**Для цитирования:** Махди Т.Н., Игитян Е.В., Польщиков К.А., Корсунов Н.И. 2022. Оценивание эффективности функционирования диалоговой системы на основе применения нечеткого вывода с нейросетевой настройкой. Экономика. Информатика, 49(2): 356–374. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-356-374

---

## Evaluation of the Dialogue System Efficiency Based on the Application of Fuzzy Inference with Neural Network Settings

<sup>1)</sup> Tareq N. Mahdi, <sup>2)</sup> Elena V. Igityan, <sup>2)</sup> Konstantin A. Polshchikov, <sup>2)</sup> Nikolay I. Korsunov

<sup>1)</sup> Mustansiriyah University, AL-Qadisiya St, Baghdad, 10001, Iraq

<sup>2)</sup> Belgorod National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: tareq.nasser.m@gmail.com, medvedeva\_e@bsu.edu.ru, polshchikov@bsu.edu.ru,  
korsunov@bsu.edu.ru

**Abstract.** The results of the study aimed at improving the process of evaluating the effectiveness of the functioning of dialogue systems based on the development of models of fuzzy inference and neural network learning are presented. The relevance of the development of tools for analyzing the performance of question-answer functions by software tools called virtual assistants is substantiated. As values for evaluating the effectiveness of the functioning of dialogue systems, it is proposed to use particular indicators that

characterize the accuracy, conciseness and completeness of answers to the questions asked. The resulting performance evaluation is determined by the value of the generalized indicator, calculated taking into account the values of particular indicators. An algorithm for calculating a generalized indicator based on the use of fuzzy inference has been developed. The values of parameters of membership functions and individual conclusions of fuzzy rules necessary for its implementation are proposed to be calculated on the basis of a neural network learning algorithm. The decision to complete the neural network tuning of the fuzzy inference parameters is made based on the calculation and analysis of the current learning error. The results of experimental studies on evaluating the effectiveness of the functioning of dialogue systems based on the proposed algorithms are presented.

**Keywords:** dialogue system, virtual assistant, question-answer system, performance evaluation, fuzzy inference, neural network learning

**Acknowledgments:** the reported study was funded by RFBR, project number 20-37-90083.

**For citation:** Mahdi T.N., Igityan E.V., Polshchikov K.A., Korsunov N.I. 2022. Evaluation of the Dialogue System Efficiency Based on the Application of Fuzzy Inference with Neural Network Settings. Economics. Information technologies, 49(2): 356–374 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-356-374

---

## Введение

Одним из важнейших направлений автоматической обработки естественно-языковых данных является разработка и совершенствование интеллектуальных диалоговых систем и их упрощенных версий – чат-ботов. Эти системы стали все чаще применяться в коммерческих проектах [Balakrishnan, Dwived, 2021], где они используются в общении с клиентами для помощи в покупке товаров, технической поддержки, навигации по сайтам и т. д. [Abu Daqar, Smoudy, 2019]. Диалоговые системы используются в качестве интеллектуальных модулей общения социальных роботов, которые ухаживают за больными, престарелыми людьми [Reis et al., 2018].

Задача диалоговых систем – не только продемонстрировать пользователю свои коммуникативные способности, но и предоставить максимально точный ответ на вопрос, заданный на естественном языке. Современные вопросно-ответные системы обладают модулями контентной аналитики, позволяющими собирать и упорядочивать информацию, а также использовать машинное обучение на основе нейронных сетей [Lin, Xu, 2019]. Популярными сегодня диалоговыми системами являются виртуальные ассистенты «Siri» (Apple), «Google Assistant», «Amazon Alexa», «Cortana» (Microsoft), «Алиса» (Яндекс) [Tulshan, Dhage, 2019; Bylieva et al., 2021]. Специалисты утверждают, что проблемным вопросом является отсутствие адекватных средств оценки качества диалоговых систем, недостает общепризнанных методов, моделей, метрик, т. е. количественных показателей, на основе которых можно было бы сравнить эффективность имеющихся систем, обосновать выбор подходящих для тех или иных целей виртуальных ассистентов, а также объективно выявить их недостатки и направления дальнейшего совершенствования.

В настоящее время для оценивания эффективности диалоговых систем используются наборы многих самых различных показателей, в том числе, стандартные технические показатели программного обеспечения (показатель диалогового потока, показатель качества классификации сообщений, показатель качества извлечения данных из пользовательских сообщений и др.). Оценка качества реплики может быть вычислена как перплексия (обратная вероятность тестового набора, нормализованная по количеству слов,) но она не всегда позволяет оценить адекватность реплики. В отдельных случаях для оценки эффективности чат-ботов используются метрики, которые были разработаны для оценки качества моделей машинного перевода, например, BLEU [Papineni et al., 2002] и METEOR [Lavie, Agarwal, 2007] – показатели различий между компьютерным переводом и эталонным пользовательским переводом.

Анализ показал, что обозначенные выше показатели являются либо не в полной мере подходящими к оценке диалоговых систем, либо не самыми важными, второстепенными, по-



верхностными. Методы их вычисления не позволяют в требуемой мере оценить приспособленность системы к выполнению вопросно-ответных функций. На наш взгляд, в данной сфере лучше подходят показатели точности, лаконичности и полноты. Таким образом, задача разработки средств анализа эффективности диалоговых систем с точки зрения выполнения вопросно-ответных функций является актуальной.

Цель статьи – совершенствование процесса оценивания эффективности функционирования диалоговых систем на основе разработки моделей нечеткого вывода и нейросетевого обучения.

Для достижения цели требуются следующие задачи исследования:

- 1) обоснование показателей для оценивания эффективности функционирования диалоговой системы;
- 2) разработка алгоритма оценивания эффективности функционирования диалоговой системы на основе применения нечеткого вывода;
- 3) разработка алгоритма настройки параметров нечеткого вывода для оценивания эффективности функционирования диалоговой системы;
- 4) проведение экспериментальных исследований по оцениванию эффективности функционирования диалоговых систем на основе применения предложенных алгоритмов.

### **Обоснование показателей для оценивания эффективности функционирования диалоговых систем**

Анализ источников по тематике исследования показал, что различают следующие разновидности современных диалоговых систем:

- 1) целе-ориентированные диалоговые системы, помогающие выполнить человеку какое-то действие, например, включить электроприбор или заказать доставку продуктов [Xu et al., 2020];
- 2) знание-ориентированные (вопросно-ответные) диалоговые системы, помогающие получить искомую информацию [Sun et al., 2020].
- 3) диалоговые системы, предназначенные для общения, поддержания диалога без определенной цели [Jannach et al., 2021].

Наиболее известные сегодня диалоговые системы, такие виртуальные ассистенты, как, например, Siri (компания «Apple»), Алиса (компания «Яндекс»), способны в той или иной мере выполнять все вышеуказанные функции. И всё же наиболее полезными, на наш взгляд, являются знание-ориентированные возможности, предоставляющие человеку в процессе общения искомую информацию, т. е. именно те сведения, о которых он спрашивает, которые его интересуют в данный момент. В связи с этим знание-ориентированные диалоговые системы стали объектом данного исследования.

Назначение знание-ориентированной диалоговой системы – получить ответы (реплики), содержащие как можно больше искомой информации. При этом в процессе общения в репликах диалоговой системы может содержаться или отсутствовать искомая информация в полном или частичном объеме, а также содержаться или отсутствовать другая информация, усложняющая понимание ответов и получение искомого знания человеком.

С точки зрения содержания искомой и другой информации реплики, выдаваемые диалоговой системой, могут быть следующих видов:

- 1) реплики, в которых содержится полная искомая информация и отсутствует другая информация;
- 2) реплики, в которых содержится полная искомая информация и другая информация;
- 3) реплики, в которых содержится частичная искомая информация и отсутствует другая информация;
- 4) реплики, в которых содержится частичная искомая информация и другая информация;
- 5) реплики, в которых отсутствует искомая информация и содержится другая информация;

б) реплики, в которых отсутствует искомая информация и другая информация.

Признаки вышеуказанных видов реплик, выдаваемых диалоговой системой, отражены в таблице 1.

Таблица 1  
Table 1

Признаки видов реплик, выдаваемых диалоговой системой  
Signs of the replicas types issued by the dialogue system

Виды реплик	Содержится искомая информация		Содержится другая информация
	Полная	Частичная	
1	да	нет	нет
2	да	нет	да
3	нет	да	нет
4	нет	да	да
5	нет	нет	да
6	нет	нет	нет

Эффективность работы диалоговой системы тем выше, чем больше содержится искомой информации в выдаваемых ею репликах и меньше содержится другой информации, усложняющей понимание ответа. Другими словами, эффективно функционирующие диалоговые системы должны отвечать требованиям точности, лаконичности и полноты.

С учетом вышеизложенного для оценки эффективности функционирования диалоговой системы предлагается использовать представленные ниже частные показатели:

- 1)  $\alpha$  – доля реплик с искомой информацией;
- 2)  $\beta$  – доля реплик только с искомой информацией;
- 3)  $\gamma$  – доля реплик только с полной искомой информацией.

Показатель  $\alpha$  вычисляется как отношение числа реплик, содержащих искомую информацию, к общему числу реплик, выданных диалоговой системой:

$$\alpha = \frac{A + B + C + D}{A + B + C + D + E + F}, \quad (1)$$

где  $A$  – число реплик вида 1;  $B$  – число реплик вида 2;  $C$  – число реплик вида 3;  $D$  – число реплик вида 4;  $E$  – число реплик вида 5;  $F$  – число реплик вида 6.

Показатель  $\beta$  равен отношению числа реплик, содержащих только искомую информацию, к общему числу реплик, содержащих искомую и/или другую информацию:

$$\beta = \frac{A + C}{A + B + C + D + E}. \quad (2)$$

Показатель  $\gamma$  определяется как отношение числа реплик, содержащих только полную искомую информацию, к общему числу реплик, содержащих искомую информацию:

$$\gamma = \frac{A + B}{A + B + C + D}. \quad (3)$$

Число реплик вида 1 можно вычислить по формуле:

$$A = \sum_{i=1}^N a_i. \quad (4)$$



Значения слагаемых  $a_i$  в формуле (4) можно определить с использованием правила:

$$a_i = \begin{cases} 1, & r_i = 1; \\ 0, & r_i \neq 1, \end{cases} \quad (5)$$

где  $i$  – номер реплики, выданной диалоговой системой;  $r_i$  – вид реплики номер  $i$ .

По аналогии для вычисления значений  $C$ ,  $D$ ,  $E$  и  $F$  могут быть использованы формулы:

$$B = \sum_{i=1}^N b_i; \quad (6)$$

$$b_i = \begin{cases} 1, & r_i = 2; \\ 0, & r_i \neq 2; \end{cases} \quad (7)$$

$$C = \sum_{i=1}^N c_i; \quad (8)$$

$$c_i = \begin{cases} 1, & r_i = 3; \\ 0, & r_i \neq 3; \end{cases} \quad (9)$$

$$D = \sum_{i=1}^N d_i; \quad (10)$$

$$d_i = \begin{cases} 1, & r_i = 4; \\ 0, & r_i \neq 4; \end{cases} \quad (11)$$

$$E = \sum_{i=1}^N e_i; \quad (12)$$

$$e_i = \begin{cases} 1, & r_i = 5; \\ 0, & r_i \neq 5; \end{cases} \quad (13)$$

$$F = \sum_{i=1}^N f_i; \quad (14)$$

$$f_i = \begin{cases} 1, & r_i = 6; \\ 0, & r_i \neq 6. \end{cases} \quad (15)$$

Чем выше значения каждого частного показателя, тем выше эффективность функционирования диалоговой системы. Однако при сравнении диалоговых систем возможны случаи, когда, например, для одной системы значение первого частного показателя выше, чем для другой системы, а значение второго или третьего показателя ниже. Значит, чтобы оценить эффективность функционирования диалоговой системы, требуется использовать некоторый единственный обобщенный показатель  $S$ , который учитывает значения предложенных выше частных показателей.

### Разработка алгоритма оценивания эффективности функционирования диалоговой системы на основе нечеткого вывода

Ввиду того, что критерии к показателям  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  сложно представить с помощью конкретных численных значений, для их оценивания могут быть применены нечеткие множества «высокое значение показателя  $\alpha$ » и «низкое значение показателя  $\alpha$ », «высокое значение показателя  $\beta$ » и «низкое значение показателя  $\beta$ », «высокое значение показателя  $\gamma$ » и «низкое значение показателя  $\gamma$ ». В этом случае для вычисления обобщенного показателя эффективности функционирования диалоговой системы целесообразно применить нечеткий вывод. Построение правил нечеткого вывода целесообразно осуществлять на основе алгоритма Сугено нулевого порядка [Takagi, Sugeno, 1985], т. к. он является одним из наиболее простых и успешно применяется во многих прикладных областях [Konstantinov et al., 2015; Polshchikov et al., 2019; Velikanova et al., 2021]. В этом случае нечеткие правила для вычисления обобщенного показателя  $S$  имеют следующий вид:

$$\text{if } (\alpha = \alpha^+) \text{ and } (\beta = \beta^+) \text{ and } (\gamma = \gamma^+) \text{ then } (S = s_1), \quad (16)$$

$$\text{if } (\alpha = \alpha^+) \text{ and } (\beta = \beta^+) \text{ and } (\gamma = \gamma^-) \text{ then } (S = s_2), \quad (17)$$

$$\text{if } (\alpha = \alpha^+) \text{ and } (\beta = \beta^-) \text{ and } (\gamma = \gamma^+) \text{ then } (S = s_3), \quad (18)$$

$$\text{if } (\alpha = \alpha^+) \text{ and } (\beta = \beta^-) \text{ and } (\gamma = \gamma^-) \text{ then } (S = s_4), \quad (19)$$

$$\text{if } (\alpha = \alpha^-) \text{ and } (\beta = \beta^+) \text{ and } (\gamma = \gamma^+) \text{ then } (S = s_5), \quad (20)$$

$$\text{if } (\alpha = \alpha^-) \text{ and } (\beta = \beta^+) \text{ and } (\gamma = \gamma^-) \text{ then } (S = s_6), \quad (21)$$

$$\text{if } (\alpha = \alpha^-) \text{ and } (\beta = \beta^-) \text{ and } (\gamma = \gamma^+) \text{ then } (S = s_7), \quad (22)$$

$$\text{if } (\alpha = \alpha^-) \text{ and } (\beta = \beta^-) \text{ and } (\gamma = \gamma^-) \text{ then } (S = s_8), \quad (23)$$

где  $\alpha^+$  – нечеткое множество «высокое значение показателя  $\alpha$ »;  $\alpha^-$  – нечеткое множество «низкое значение показателя  $\alpha$ »;  $\beta^+$  – нечеткое множество «высокое значение показателя  $\beta$ »;  $\beta^-$  – нечеткое множество «низкое значение показателя  $\beta$ »;  $\gamma^+$  – нечеткое множество «высокое значение показателя  $\gamma$ »;  $\gamma^-$  – нечеткое множество «низкое значение показателя  $\gamma$ »;  $s_1, s_2, \dots, s_8$  – значения индивидуальных выводов каждого нечеткого правила.

Значения  $\alpha$  могут в различной мере соответствовать нечетким множествам  $\alpha^+$  и  $\alpha^-$ . Чтобы вычислить значения, характеризующие меру этого соответствия, можно использовать функции принадлежности  $x^+(\alpha)$  и  $x^-(\alpha)$ . При этом значение функции  $x^+(\alpha)$  равно вероятности того, что значение  $\alpha$  принадлежит нечеткому множеству  $\alpha^+$ , аналогично значение функции  $x^-(\alpha)$  равно вероятности того, что значение  $\alpha$  принадлежит нечеткому множеству  $\alpha^-$ . Таким же образом, чтобы вычислить вероятность того, что значения  $\beta$  принадлежат нечетким множествам  $\beta^+$  и  $\beta^-$ , можно применить функции принадлежности  $y^+(\beta)$  и  $y^-(\beta)$ , а для вычисления вероятности того, что значения  $\gamma$  принадлежат нечетким множествам  $\gamma^+$  и  $\gamma^-$ , можно использовать функции принадлежности  $z^+(\gamma)$  и  $z^-(\gamma)$ .

Для вычисления обобщенного показателя эффективности функционирования диалоговой системы предлагается использовать линейные Z-образные и S-образные функции принадлежности, широко применяемые в исследовательской практике [Polshchikov et al., 2020; Агузумцян и др., 2021].

Графический вид функций принадлежности  $x^-(\alpha)$  и  $x^+(\alpha)$  представлен на рисунке 1.

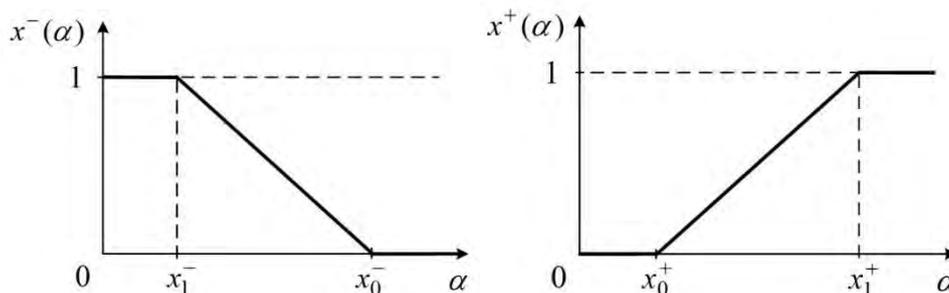


Рис. 1. Функции принадлежности  $x^-(\alpha)$  и  $x^+(\alpha)$

Fig 1. Membership functions  $x^-(\alpha)$  and  $x^+(\alpha)$

Границы наклонного отрезка линейной Z-образной функции  $x^-(\alpha)$  обозначены величинами  $x_1^-$  и  $x_0^-$ , а границы наклонного отрезка линейной S-образной функции  $x^+(\alpha)$  обозначены величинами  $x_0^+$  и  $x_1^+$ .

Графический вид функций принадлежности  $y^-(\beta)$  и  $y^+(\beta)$  представлен на рисунке 2.

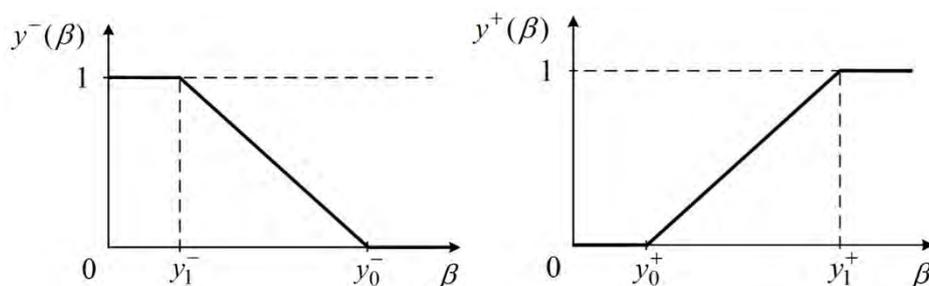


Рис. 2. Функции принадлежности  $y^-(\beta)$  и  $y^+(\beta)$

Fig 2. Membership functions  $y^-(\beta)$  and  $y^+(\beta)$

Границы наклонного отрезка линейной Z-образной функции  $y^-(\beta)$  обозначены величинами  $y_1^-$  и  $y_0^-$ , а границы наклонного отрезка линейной S-образной функции  $y^+(\beta)$  обозначены величинами  $y_0^+$  и  $y_1^+$ .

Графический вид функций принадлежности  $z^-(\gamma)$  и  $z^+(\gamma)$  представлен на рисунках 3.

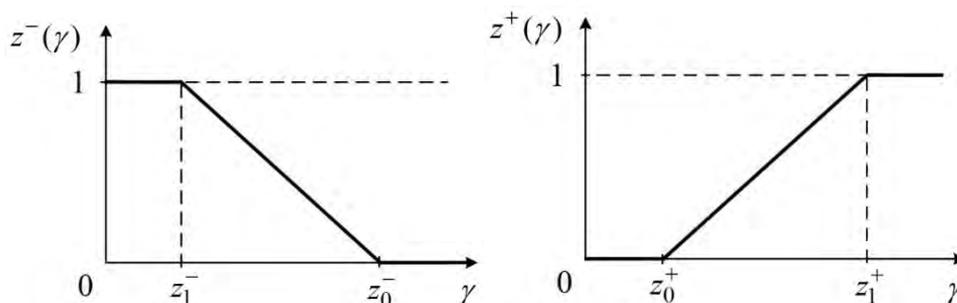


Рис. 3. Функции принадлежности  $z^-(\gamma)$  и  $z^+(\gamma)$

Fig 3. Membership functions  $z^-(\gamma)$  and  $z^+(\gamma)$

Границы наклонного отрезка линейной Z-образной функции  $z^-(\gamma)$  обозначены величинами  $z_1^-$  и  $z_0^-$ , а границы наклонного отрезка линейной S-образной функции  $z^+(\gamma)$  обозначены величинами  $z_0^+$  и  $z_1^+$ .

Вычисление обобщенного показателя эффективности функционирования диалоговой системы на основе нечеткого вывода требует, прежде всего, выполнения фаззификации, результатами которой являются значения функций принадлежности, зависящие от входных значений показателей  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ :

$$x^-(\alpha) = \begin{cases} 1, & \alpha \leq x_1^-; \\ \frac{x_0^- - \alpha}{x_0^- - x_1^-}, & x_1^- < \alpha < x_0^-; \\ 0, & \alpha \geq x_0^-; \end{cases} \quad (24)$$

$$x^+(\alpha) = \begin{cases} 0, & \alpha \leq x_0^+; \\ \frac{\alpha - x_0^+}{x_1^+ - x_0^+}, & x_0^+ < \alpha < x_1^+; \\ 1, & \alpha \geq x_1^+; \end{cases} \quad (25)$$

$$y^-(\beta) = \begin{cases} 1, & \beta \leq y_1^-; \\ \frac{y_0^- - \beta}{y_0^- - y_1^-}, & y_1^- < \beta < y_0^-; \\ 0, & \beta \geq y_0^-; \end{cases} \quad (26)$$

$$y^+(\beta) = \begin{cases} 0, & \beta \leq y_0^+; \\ \frac{\beta - y_0^+}{y_1^+ - y_0^+}, & y_0^+ < \beta < y_1^+; \\ 1, & \beta \geq y_1^+; \end{cases} \quad (27)$$

$$z^-(\gamma) = \begin{cases} 1, & \gamma \leq z_1^-; \\ \frac{z_0^- - \gamma}{z_0^- - z_1^-}, & z_1^- < \gamma < z_0^-; \\ 0, & \gamma \geq z_0^-; \end{cases} \quad (28)$$

$$z^+(\gamma) = \begin{cases} 0, & \gamma \leq z_0^+; \\ \frac{\gamma - z_0^+}{z_1^+ - z_0^+}, & z_0^+ < \gamma < z_1^+; \\ 1, & \gamma \geq z_1^+. \end{cases} \quad (29)$$

После фаззификации выполняется процедура агрегирования, результатами которой являются величины  $G_1, G_2, \dots, G_8$ , вычисляемые с использованием следующих выражений:

$$G_1 = x^+(\alpha) \wedge y^+(\beta) \wedge z^+(\gamma), \quad (30)$$



$$G_2 = x^+(\alpha) \wedge y^+(\beta) \wedge z^-(\gamma), \quad (31)$$

$$G_3 = x^+(\alpha) \wedge y^-(\beta) \wedge z^+(\gamma), \quad (32)$$

$$G_4 = x^+(\alpha) \wedge y^-(\beta) \wedge z^-(\gamma), \quad (33)$$

$$G_5 = x^-(\alpha) \wedge y^+(\beta) \wedge z^+(\gamma), \quad (34)$$

$$G_6 = x^-(\alpha) \wedge y^+(\beta) \wedge z^-(\gamma), \quad (35)$$

$$G_7 = x^-(\alpha) \wedge y^-(\beta) \wedge z^+(\gamma), \quad (36)$$

$$G_8 = x^-(\alpha) \wedge y^-(\beta) \wedge z^-(\gamma). \quad (37)$$

Заключительной процедурой процесса оценивания эффективности функционирования диалоговой системы является дефаззификация, в результате которой вычисляется значение обобщенного показателя  $S$ :

$$S = \frac{\sum_{k=1}^8 G_k s_k}{\sum_{k=1}^8 G_k}. \quad (38)$$

Процесс оценивания эффективности функционирования диалоговой системы на основе нечеткого вывода можно представить в виде алгоритма, блок-схема которого представлена на рисунке 4.

Данный алгоритм предписывает выполнение следующих шагов:

Шаг 1. Осуществляется ввод исходных данных:

– число вопросов  $N$ , задаваемых диалоговой системе;

– значения параметров функций принадлежности, т. е. величин  $x_0^-, x_1^-, x_0^+, x_1^+, y_0^-, y_1^-, y_0^+, y_1^+, z_0^-, z_1^-, z_0^+$  и  $z_1^+$ ;

– значения индивидуальных выводов нечетких правил, т. е. величин  $s_1, s_2, \dots, s_8$ .

Шаг 2. Диалоговой системе задается вопрос номер  $i = 1$ .

Шаг 3. Анализируется выданный диалоговой системой ответ. В соответствии с таблицей 1 определяется вид реплики.

Шаг 4. По формулам (5), (7), (9), (11), (13) и (15) вычисляются значения  $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i$  и  $f_i$ .

Шаг 5. Проверяется выполнение условия:

$$i \leq N. \quad (39)$$

Если данное условие выполняется, то  $i$  увеличивается на 1, диалоговой системе задается следующий вопрос и осуществляется переход к шагу 3. В противном случае осуществляется переход к шагу 6.

Шаг 6. По формулам (4), (6), (8), (10), (12) и (14) вычисляются значения  $A, B, C, D, E$  и  $F$ .

Шаг 7. По формулам (1)–(3) вычисляются значения частных показателей  $\alpha, \beta$  и  $\gamma$ .

Шаг 8. С использованием выражений (24)–(29) выполняется процедура фаззификации.

Шаг 9. По формулам (30)–(37) выполняется процедура агрегирования.

Шаг 10. Выполняется процедура дефаззификации, в результате которой по формуле (38) вычисляется значение  $S$ .

Шаг 11. Осуществляется вывод результирующего значения обобщенного показателя эффективности функционирования диалоговой системы. Конец алгоритма.

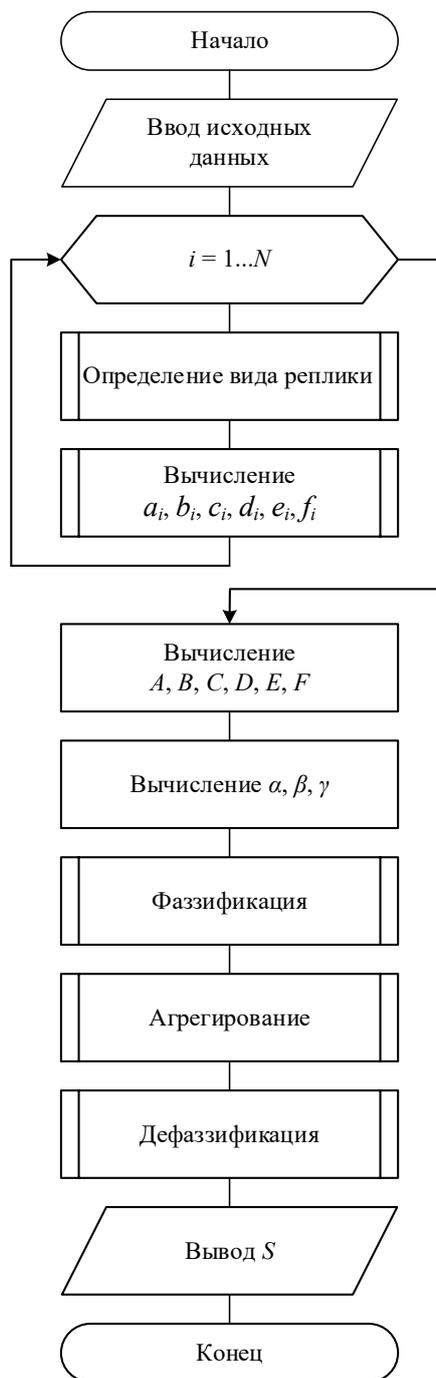


Рис. 4. Блок-схема алгоритма оценивания эффективности функционирования диалоговой системы  
Fig 4. Block diagram of the algorithm for evaluating the dialogue system effectiveness

Для выполнения представленных выше процедур нечеткого вывода в соответствии с формулами (16)–(38) и соответствующего алгоритма необходимы конкретные значения параметров функций принадлежности (величин  $x_0^-, x_1^-, x_0^+, x_1^+, y_0^-, y_1^-, y_0^+, y_1^+, z_0^-, z_1^-, z_0^+$  и  $z_1^+$ ), а также индивидуальных выводов нечетких правил (величин  $s_1, s_2, \dots, s_8$ ). Вычислить значения этих параметров позволяет применение нейросетевого обучения. В этих целях требуется создать многослойную нейронную сеть прямого распространения, в слоях которой выполнялись бы определенные процедуры нечеткого вывода. Такая гибридная адаптивная



система нейронно-нечеткого вывода (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS), именуемая также нечеткой нейронной сетью, успешно применяется при решении многих научно-технических задач [Polshchykov, Lazarev, Zdorovtsov, 2017; Karaboga, Kaya, 2019].

### Разработка алгоритма нейросетевой настройки параметров нечеткого вывода для оценивания эффективности функционирования диалоговой системы

Настройка ANFIS даст возможность автоматически вычислить неизвестные значения параметров функций принадлежности и индивидуальных выводов нечетких правил. Чтобы выполнить настройку нечеткой нейронной сети необходимо сформировать обучающую выборку, структура которой представлена в таблице 2.

Таблица 2  
Table 2

Структура обучающей выборки  
The structure of the training set

Порядковый номер эксперимента	Значение $\alpha$	Значение $\beta$	Значение $\gamma$	Результирующая оценка
1	$\alpha_1$	$\beta_1$	$\gamma_1$	$S_1$
2	$\alpha_2$	$\beta_2$	$\gamma_2$	$S_2$
...	...	...	...	...
$m$	$\alpha_m$	$\beta_m$	$\gamma_m$	$S_m$
...	...	...	...	...
$M$	$\alpha_M$	$\beta_M$	$\gamma_M$	$S_M$

В целях формирования обучающей матрицы необходимо провести  $M$  экспериментов, в ходе каждого из которых получить от диалоговой системы ответы (реплики) на  $N$  вопросов. В результате каждого эксперимента номер  $m$  экспертом выставляется субъективная оценка  $S_m$ , показывающая, насколько, по его мнению, проведенный диалог был полезен. Кроме того, по результатам каждого эксперимента по формулам (1)–(15) вычисляются значения частных показателей эффективности функционирования диалоговой системы и заносятся в соответствующие строки обучающей выборки. Для получения достоверных результатов объем обучающей выборки должен составлять не менее 1000 строк, как и число проведенных для её формирования экспериментов.

Сформированная вышеуказанным образом обучающая выборка подается на вход ANFIS и в течение многочисленных циклов (эпох) выполняется настройка нечеткой нейронной сети. Для обучения рекомендуется использовать алгоритм обучения, реализующий комбинацию метода наименьших квадратов и метода убывания обратного градиента. Число циклов настройки должно быть таким, чтобы в течение нескольких последних эпох значение ошибки обучения стало наименьшим.

Алгоритм нейросетевой настройки параметров нечеткого вывода для вычисления обобщенного показателя  $S$  представлен на рисунке 5. Данный алгоритм предписывает выполнение следующих шагов:

Шаг 1. Осуществляется ввод исходных данных:

- число экспериментов  $M$ , выполняемых для формирования обучаемой выборки;
- число вопросов  $N$ , задаваемых диалоговой системе, в ходе каждого эксперимента;
- начальное число эпох обучения нечеткой нейронной сети.

Шаг 2. Начинается проведение эксперимента номер  $m = 1$ .

Шаг 3. Диалоговой системе задается вопрос номер  $i = 1$ .

Шаг 4. Анализируется выданный диалоговой системой ответ. В соответствии с таблицей 1 определяется вид реплики.

Шаг 5. По формулам (5), (7), (9), (11), (13) и (15) вычисляются значения  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ ,  $d_i$ ,  $e_i$  и  $f_i$ .

Шаг 6. Проверяется выполнение условия (39).

Если данное условие выполняется, то  $i$  увеличивается на 1, диалоговой системе задается следующий вопрос и осуществляется переход к шагу 4. В противном случае осуществляется переход к шагу 7.

Шаг 7. По формулам (4), (6), (8), (10), (12) и (14) вычисляются значения  $A_m$ ,  $B_m$ ,  $C_m$ ,  $D_m$ ,  $E_m$  и  $F_m$ , а затем по формулам (1)–(3) вычисляются значения частных показателей  $\alpha_m$ ,  $\beta_m$  и  $\gamma_m$ .

Шаг 8. Выставляется субъективная оценка  $S_m$  полезности диалога, проведенного в ходе эксперимента  $m$ .

Шаг 9. Данные о значениях  $\alpha_m$ ,  $\beta_m$ ,  $\gamma_m$  и  $S_m$  вносятся в строку номер  $m$  обучающей выборки.

Шаг 10. Проверяется выполнение условия:

$$m \leq M \quad (40)$$

Если данное условие выполняется, то  $m$  увеличивается на 1, начинается проведение следующего эксперимента и осуществляется переход к шагу 3. В противном случае осуществляется переход к шагу 11.

Шаг 11. Проводится настройка нечеткой нейронной сети с использованием обучающей выборки в течение заданного числа эпох.

Шаг 12. Выполняется анализ вычисленной ошибки обучения. Если в течение нескольких последних эпох значение ошибки обучения продолжает уменьшаться, то заданное значение числа эпох обучения увеличивается на 1 и осуществляется переход к шагу 11.

В противном случае принимается решение о завершении настройки нечеткой нейронной сети. Конец алгоритма.

После настройки нечеткой нейронной сети алгоритм, представленный на рисунке 4, может быть использован для оценивания эффективности функционирования диалоговой системы.

### Проведение экспериментальных исследований

Предложенные выше алгоритмы были применены в ходе экспериментальных исследований по оцениванию эффективности функционирования диалоговых систем. Для вычисления обобщенного показателя эффективности  $S$  применялась нечеткая нейронная сеть, процессы создания и настройки которой выполнялись в программной среде Matlab с помощью специальных наборов инструментов Fuzzy Logic Toolbox и Neural Network Toolbox. Для создания и настройки ANFIS предварительно было проведено  $M = 1012$  экспериментов. В ходе каждого эксперимента диалоговой системе «Алиса» был задан уникальный набор из  $N = 20$  вопросов, специально подобранных на определенную тему. На основе анализа полученных реплик в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 8, в результате каждого эксперимента номер  $m$  была сформирована соответствующая строка обучающей выборки.

На рисунке 6 показаны результаты обучения ANFIS в течение 12 эпох. Видно, что в результате 3 последних циклов обучения ошибка не уменьшалась и принимала наименьшее значение 0,00199. Это свидетельствует о том, что настройку нечеткой нейронной сети можно завершить. Созданная система нечеткого вывода была сохранена в виде файла «ANFIS\_Alice.fis».

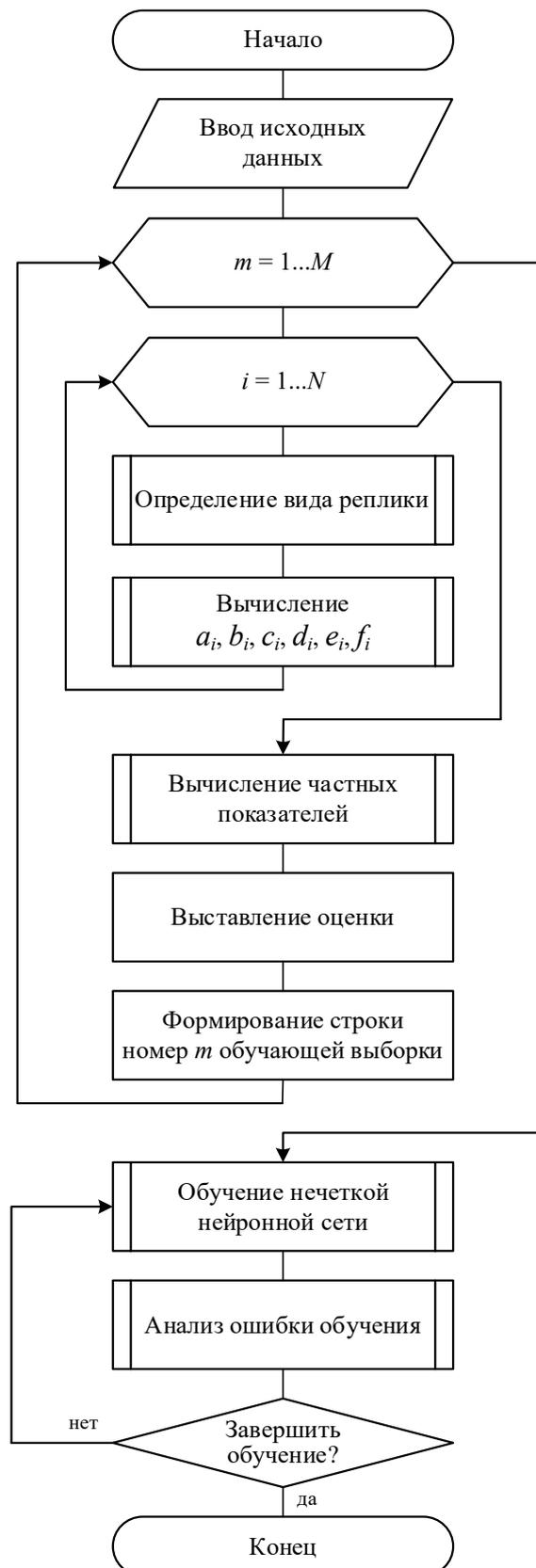


Рис. 5. Блок-схема алгоритма нейросетевой настройки параметров нечеткого вывода  
Fig 5. Block diagram of the algorithm for neural network settings of fuzzy inference parameters

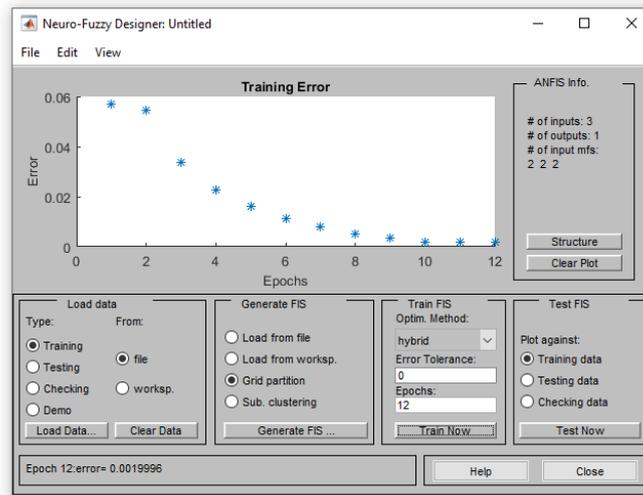


Рис. 6. Результаты обучения ANFIS  
Fig 6. ANFIS learning outcomes

Структура созданной нечеткой нейронной сети представлена на рисунке 7.

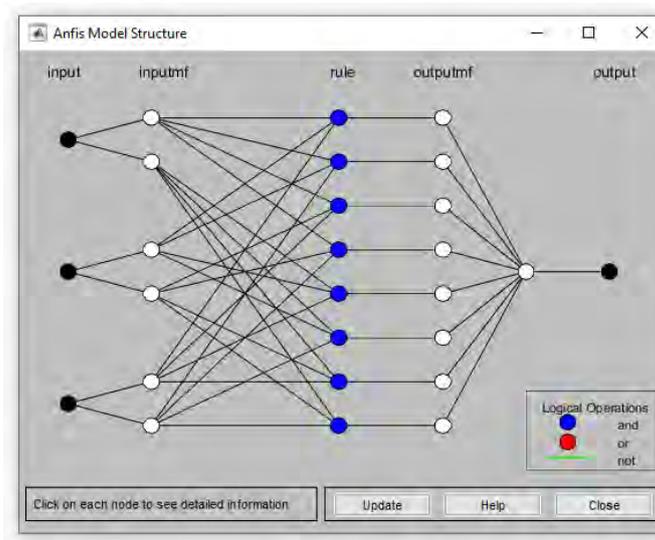


Рис. 7. Структура ANFIS  
Fig 7. ANFIS structure

В результате настройки нечеткой нейронной сети были получены следующие значения параметров функций принадлежности и индивидуальных выводов нечетких правил:  $x_1^- = 0,1019$ ;  $x_0^- = 0,9393$ ;  $x_0^+ = 0,1004$ ;  $x_1^+ = 0,9419$ ;  $y_1^- = 0,1537$ ;  $y_0^- = 0,9506$ ;  $y_0^+ = 0,1882$ ;  $y_1^+ = 0,9537$ ;  $z_1^- = 0,1229$ ;  $z_0^- = 0,8674$ ;  $z_0^+ = 0,1187$ ;  $z_1^+ = 0,9430$ ;  $s_1 = 1,027$ ;  $s_2 = -16,73$ ;  $s_3 = 7,844$ ;  $s_4 = 5,382$ ;  $s_5 = 23,54$ ;  $s_6 = 11,84$ ;  $s_7 = -1,314$ ;  $s_8 = 8,998$ .

Настройка параметров нечеткого выбора завершена. Теперь алгоритм, представленный на рисунке 4, может быть использован для оценивания эффективности функционирования диалоговых систем. Приведем пример его применения в небольшом эксперименте, проведенном с виртуальным ассистентом «Алиса».

В процессе диалога «Алисе» было задано 5 вопросов.

Вопрос 1: «Расскажи об Эйфелевой башне».



Ответ 1: «Эйфелева башня – металлическая башня в центре Парижа, самая узнаваемая его архитектурная достопримечательность». В ответе содержится только частичная искомая информация и отсутствует другая информация, реплику можно отнести к виду 3.

Вопрос 2: «Эйфелева башня высокая?»

Ответ 2: «Эйфелева башня – металлическая башня в центре Парижа, самая узнаваемая его архитектурная достопримечательность». В ответе не содержится искомая информация о высоте башни, однако имеется другая информация. Реплику можно отнести к виду 5.

Этот же вопрос был сформулирован немного иначе.

Вопрос 3: «Эйфелева башня является высокой?»

Ответ 3: «Эйфелева Башня – это самая известная архитектурная достопримечательность Парижа, известная как символ Франции, воздвигнутая на марсовом поле и названная в честь своего конструктора Гюстафа Эйфеля. Она является самым узнаваемым и высоким зданием в Париже, её высота вместе с новой антенной составляет 324 метра, что примерно равняется с домом в 81 этаж». Ответ содержит полную информацию о высоте башни, но включает много дополнительных сведений, о которых не спрашивалось. Данная формулировка была бы более уместна при ответе на вопрос 1. Реплику можно отнести к виду 2.

Вопрос 4: «В честь кого названа Эйфелева башня?»

Ответ 4: «Гюстав Эйфель». Ответ лаконичен, содержит полную искомую информацию, в нем нет дополнительной информации. Реплику можно отнести к виду 1.

Вопрос 5: «Эйфелева башня выше, чем Останкинская?»

Ответ 5: «Останкинская телебашня выше. Её высота 540 метров, а высота Эйфелевой башни составляет 324 метра». Ответ содержит полную искомую информацию, дополнительная информация отсутствует. Реплику можно отнести к виду 1.

Результаты всех полученных ответов сведены в таблице 3.

Таблица 3  
Table 3

Результаты диалога с виртуальным ассистентом «Алиса»  
The results of the dialogue with the virtual assistant "Alisa"

$i$	$r_i$	$a_i$	$b_i$	$c_i$	$d_i$	$e_i$	$f_i$
1	3	0	0	1	0	0	0
2	5	0	0	0	0	1	0
3	2	0	1	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0	0
5	1	1	0	0	0	0	0

С использованием представленных в таблице 3 данных выполнены вычисления по формулам (4), (6), (8), (10), (12) и (14), получены значения  $A=2$ ,  $B=1$ ,  $C=1$ ,  $D=0$ ,  $E=1$  и  $F=0$ . Затем с помощью выражений (1)–(3) вычислены значения частных показателей:  $\alpha=0,8$ ,  $\beta=0,6$  и  $\gamma=0,75$ . В результате выполнения процедур фаззификации, агрегирования и дефаззификации вычислено значение обобщенного показателя  $S=0,801$ , характеризующего эффективность функционирования виртуального ассистента «Алиса» в данном конкретном диалоге.

На основе применения представленных в статье алгоритмов были проведены многочисленные эксперименты, результаты которых показали, что эффективность функционирования диалоговых систем зависит от тематики диалогов и набора подобранных вопросов. В ходе экспериментов выявлены недостатки современных виртуальных ассистентов, в частности, несовершенство учета контекста и отслеживания истории ведения диалога. Связанные с этим ошибки и неточности в ответах диалоговых систем неизменно приводили к снижению

вычисляемого обобщенного показателя эффективности их функционирования, значения которого наблюдались в пределах от 0,395 до 0,912.

Таким образом, выполнение исследований на основе предложенных в статье алгоритмов позволяет выявить диалоги с невысокими значениями обобщенного показателя  $S$ . Это даст возможность в дальнейшем провести их детальный экспертный анализ и внести необходимые корректировки в целях совершенствования функционирования диалоговых систем.

### Заключение

Представленные в работе модели и алгоритмы, которые основаны на применении нечеткого вывода и нейросетевого обучения, позволили усовершенствовать процесс оценивания эффективности функционирования диалоговых систем. В статье решены задачи исследования и получены следующие результаты:

1. Для оценки эффективности функционирования диалоговой системы обосновано использование частных показателей, характеризующих точность, лаконичность и полноту ответов на заданные вопросы. Предложены модели для вычисления этих показателей как доли реплик с искомой информацией, доли реплик только с искомой информацией и доли реплик только с полной искомой информацией. Значение обобщенного показателя эффективности функционирования диалоговой системы предложено вычислять на основе применения нечеткого вывода с учетом значений частных показателей.

2. Разработан алгоритм оценивания эффективности функционирования диалоговой системы на основе применения нечеткого вывода. Алгоритм предусматривает выполнение процедур выявления видов ответных реплик, вычисления значений частных показателей, фаззификации, агрегирования, дефаззификации и вывода результирующего значения обобщенного показателя эффективности. Необходимые для выполнения данного алгоритма конкретные значения параметров функций принадлежности и индивидуальных выводов нечетких правил предложено вычислять на основе применения нейросетевого подхода.

3. Разработан алгоритм нейросетевой настройки параметров нечеткого вывода, выполняемого для вычисления обобщенного показателя эффективности функционирования диалоговой системы. Алгоритм включает процедуры создания обучающей выборки и последующей настройки нечеткой нейронной сети. Строки обучающей выборки содержат данные о значениях частных показателей эффективности и субъективных оценках полезности диалогов, проведенных с вопросно-ответной системой. Решение о завершении нейросетевой настройки параметров нечеткого вывода принимается на основе вычисления и анализа текущей ошибки обучения.

4. Проведены экспериментальные исследования по оцениванию эффективности функционирования диалоговых систем на основе предложенных алгоритмов. В результате значения обобщенного показателя эффективности изменялись в пределах от 0,395 до 0,912 в зависимости от тематики диалогов и набора подобранных вопросов. Полученные экспериментальные результаты могут быть использованы в целях совершенствования функционирования диалоговых систем.

### Список литературы

- Агузумян Р.В., Великанова А.С., Польщиков К.А., Игитян Е.В., Лихошерстов Р.В. 2021. О применении интеллектуальных технологий обработки естественного языка и средств виртуальной реальности для поддержки принятия решений при подборе исполнителей проектов. Экономика. Информатика, 48 (2): 392–404. DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-2-392-404.
- Польщиков К.А., Польщикова О.Н., Игитян Е.В., Балакшин М.С. 2019. Алгоритм поддержки принятия решений по выбору средств обработки больших массивов естественно-языковых данных. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 46 (3): 553–562. DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-3-553-562.



- Abu Daqar M.A.M., Smoudy A.K.A. 2019. The Role of Artificial Intelligence on Enhancing Customer Experience. *International Review of Management and Marketing*, 9(4): 22–31.
- Balakrishnan J., Dwivedi Y. K. 2021. Conversational commerce: entering the next stage of AI-powered digital assistants. *Annals of Operations Research*. URL: <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04049-5> (accessed: 15.05.2022).
- Bylieva D., Lobatyuk V., Kuznetsov D., Anosova N. 2021. How Human Communication Influences Virtual Personal Assistants. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 184: 98–111.
- Jannach D., Manzoor A., Cai W., Chen L. 2021. A Survey on Conversational Recommender Systems. *ACM Computing Surveys*, 54 (5): 1–36.
- Karaboga D., Kaya E. 2019. Adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS) training approaches: a comprehensive survey. *Artificial Intelligence Review*, 52: 2263–2293.
- Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Polshchikov K.O., Mihalev O.V. 2015. Theoretical aspects of evaluation of the corporative portal network traffic management. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(24): 45691–45696.
- Lavie A., Agarwal A. 2007. METEOR: An automatic metric for MT evaluation with high levels of correlation with human judgments. *Proceedings of the second workshop on statistical machine translation*: 228–231.
- Lin T.-E., Xu. H. 2019. A post-processing method for detecting unknown intent of dialogue system via pre-trained deep neural network classifier. *Knowledge-Based Systems*, 186: 104979.
- Papineni K., Roukos S., Ward T., Zhu W.-J. 2002. BLEU: A Method for Automatic Evaluation of Machine Translation. *Proceedings of the 40th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics*: 311–318.
- Polshchikov K.A., Lazarev S.A., Konstantinov I.S., Polshchikova O.N., Svoikina L.F., Igityan E.V., Balakshin M.S. 2020. Assessing the Efficiency of Robot Communication. *Russian Engineering Research*, 40: 936–938.
- Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O., Igityan E. 2019. The Algorithm for Decision-Making Supporting on the Selection of Processing Means for Big Arrays of Natural Language Data. *Lobachevskii Journal of Mathematics*, 40(11): 1831–1836.
- Polshchikov K.O., Lazarev S.A., Zdorovtsov A.D. 2017. Neuro-Fuzzy Control of Data Sending in a Mobile Ad Hoc Network. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(2S): 1494–1501.
- Reis A., Paulino D., Paredes H., Barroso I., Monteiro M.J., Rodrigues V. 2018. Using intelligent personal assistants to assist the elderly: an evaluation of Amazon Alexa, Google Assistant, Microsoft Cortana, and Apple Siri. *2-nd International Conference on Technology and Innovation in Sports, Health and Wellbeing (TISHW)*: 1–5.
- Sun Y., Hu Y., Xing L., Yu J., Xie Y. 2020. History-Adaption Knowledge Incorporation Mechanism for Multi-Turn Dialogue System. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 34(05): 8944–8951.
- Takagi T., Sugeno M. 1985. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15: 116–132.
- Tulshan A.S., Dhage S.N. 2019. Survey on Virtual Assistant: Google Assistant, Siri, Cortana, Alexa. *Communications in Computer and Information Science*, 968: 190–201.
- Velikanova A.S., Polshchikov K.A., Likhoshesterov R.V., Polshchikova A.K. 2021. The use of virtual reality and fuzzy neural network tools to identify the focus on achieving project results. *Journal of Physics: Conference Series*. 2nd International Scientific Conference on Artificial Intelligence and Digital Technologies in Technical Systems 2021, Volgograd, 2060: 173707.
- Xu H., Peng H., Xie H., Cambria E. 2020. End-to-End latent-variable task-oriented dialogue system with exact log-likelihood optimization. *World Wide Web*, 23: 1989–2002.

## References

- Aguzumtsyan R.V., Velikanova A.S., Polshchikov K.A., Igityan E.V., Likhoshesterov R.V. 2021. Application of intellectual technologies of natural language processing and virtual reality means to support decision-making when selecting project executors. *Economics. Information technologies*, 48(2): 392–404. (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2021-48-2-392-404.
- Polshchikov K.A., Polshchikova O.N., Igityan E.V., Balakshin M.S. 2019. The algorithm of decision support in the choice of means of processing large amounts of natural language data. *Belgorod State*

- University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. 46 (3): 553–562 (in Russian). DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-3-553-562.
- Abu Daqar M.A.M., Smoudy A.K.A. 2019. The Role of Artificial Intelligence on Enhancing Customer Experience. *International Review of Management and Marketing*, 9(4): 22–31.
- Balakrishnan J., Dwivedi Y.K. 2021. Conversational commerce: entering the next stage of AI-powered digital assistants. *Annals of Operations Research*. URL: <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04049-5> (accessed: 15.05.2022).
- Bylieva D., Lobatyuk V., Kuznetsov D., Anosova N. 2021. How Human Communication Influences Virtual Personal Assistants. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 184: 98–111.
- Jannach D., Manzoor A., Cai W., Chen L. 2021. A Survey on Conversational Recommender Systems. *ACM Computing Surveys*, 54 (5): 1–36.
- Karaboga D., Kaya E. 2019. Adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS) training approaches: a comprehensive survey. *Artificial Intelligence Review*, 52: 2263–2293.
- Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Polshchikov K.O., Mihalev O.V. 2015. Theoretical aspects of evaluation of the corporative portal network traffic management. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(24): 45691–45696.
- Lavie A., Agarwal A. 2007. METEOR: An automatic metric for MT evaluation with high levels of correlation with human judgments. *Proceedings of the second workshop on statistical machine translation*: 228–231.
- Lin T.-E., Xu. H. 2019. A post-processing method for detecting unknown intent of dialogue system via pre-trained deep neural network classifier. *Knowledge-Based Systems*, 186: 104979.
- Papineni K., Roukos S., Ward T., Zhu W.-J. 2002. BLEU: A Method for Automatic Evaluation of Machine Translation. *Proceedings of the 40th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics*: 311–318.
- Polshchikov K.A., Lazarev S.A., Konstantinov I.S., Polshchikova O.N., Svoikina L.F., Igityan E.V., Balakshin M.S. 2020. Assessing the Efficiency of Robot Communication. *Russian Engineering Research*, 40: 936–938.
- Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O., Igityan E. 2019. The Algorithm for Decision-Making Supporting on the Selection of Processing Means for Big Arrays of Natural Language Data. *Lobachevskii Journal of Mathematics*, 40(11): 1831–1836.
- Polshchikov K.O., Lazarev S.A., Zdorovtsov A.D. 2017. Neuro-Fuzzy Control of Data Sending in a Mobile Ad Hoc Network. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(2S): 1494–1501.
- Reis A., Paulino D., Paredes H., Barroso I., Monteiro M.J., Rodrigues V. 2018. Using intelligent personal assistants to assist the elderly: an evaluation of Amazon Alexa, Google Assistant, Microsoft Cortana, and Apple Siri. *2-nd International Conference on Technology and Innovation in Sports, Health and Wellbeing (TISHW)*: 1–5.
- Sun Y., Hu Y., Xing L., Yu J., Xie Y. 2020. History-Adaption Knowledge Incorporation Mechanism for Multi-Turn Dialogue System. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 34(05): 8944–8951.
- Takagi T., Sugeno M. 1985. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15: 116–132.
- Tulshan A.S., Dhage S.N. 2019. Survey on Virtual Assistant: Google Assistant, Siri, Cortana, Alexa. *Communications in Computer and Information Science*, 968: 190–201.
- Velikanova A.S., Polshchikov K.A., Likhoshesterov R.V., Polshchikova A.K. 2021. The use of virtual reality and fuzzy neural network tools to identify the focus on achieving project results. *Journal of Physics: Conference Series*. 2nd International Scientific Conference on Artificial Intelligence and Digital Technologies in Technical Systems 2021, Volgograd, 2060: 173707.
- Xu H., Peng H., Xie H., Cambria E. 2020. End-to-End latent-variable task-oriented dialogue system with exact log-likelihood optimization. *World Wide Web*, 23: 1989–2002.

**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

**Махди Тарек Нассер**, магистр наук, преподаватель  
Университета Мустансирия, г. Багдад, Ирак

**Игитян Елена Владимировна**, аспирант кафедры  
информационно-телекоммуникационных систем и  
технологий, Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет, г. Белгород,  
Россия

**Польщиков Константин Александрович**, доктор  
технических наук, доцент, директор института инже-  
нерных и цифровых технологий, Белгородский госу-  
дарственный национальный исследовательский уни-  
верситет, г. Белгород, Россия

**Корсунов Николай Иванович**, доктор технических  
наук, профессор, профессор кафедры математическо-  
го и программного обеспечения информационных сис-  
тем, Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет, г. Белгород, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Tareq N. Mahdi**, MSc, Assistant Lecturer of  
the Mustansiriyah University, Baghdad, Iraq

**Elena V. Igityan**, Post-graduate Student of the  
Department of Information and Telecommuni-  
cations Systems and Technologies of the Belgo-  
rod National Research University, Belgorod,  
Russia

**Konstantin A. Polishchikov**, Doctor of Tech-  
nical Sciences, Associate Professor, Director of  
the Institute of Engineering and Digital Tech-  
nologies of the Belgorod National Research  
University, Belgorod, Russia

**Nikolay I. Korsunov**, Doctor of Technical Sci-  
ences, Professor, Professor of the Department  
of Mathematical and Software Information Sys-  
tems of the Belgorod National Research Uni-  
versity, Belgorod, Russia



УДК 004.89

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-375-382

## Взаимосвязь дисциплин и компетенций в интеллектуальной образовательной экосистеме

**Оболенский Д.М., Шевченко В.И.**

Севастопольский государственный университет,  
Россия, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
E-mail: denismaster@outlook.com, VIShevchenko@sevsu.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматривается формализация взаимосвязи дисциплин и компетенций в рамках предложенной концепции интеллектуальной образовательной экосистемы. Авторы используют бинарные отношения, использующие существующие федеральные образовательные стандарты, профессиональные стандарты, требования работодателей, карты компетенций и нормативные документы, для построения направленного ациклического графа навыков. Вводятся понятия требуемых и развиваемых компетенций дисциплин. Далее с использованием данного графа навыков определяется и математически формализуется другое бинарное отношение, которое необходимо для построения направленного ациклического графа дисциплин. Предложено использование топологической сортировки для определения порядков обхода графа дисциплин. Рассмотренная взаимосвязь между компетенциями и дисциплинами позволяет сократить пространство поиска и построить множество возможных образовательных траекторий на данном направленном ациклическом графе.

**Ключевые слова:** интеллектуальная образовательная экосистема, теория графов, бинарное отношение, образовательный ресурс, компетенция

**Для цитирования:** Оболенский Д.М., Шевченко В.И. 2022. Взаимосвязь дисциплин и компетенций в интеллектуальной образовательной экосистеме. Экономика. Информатика, 49(2): 375–382. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-375-382

---

## Connection Between Courses and Skills in the Intelligent Educational Ecosystem

**Denis M. Obolensky, Victoria I. Shevchenko**

Sevastopol State University  
33 Universitetskaya St, Sevastopol, 299053, Russia  
E-mail: denismaster@outlook.com, VIShevchenko@sevsu.ru

**Abstract.** This article explores the formalization of the connection between courses and skills within the framework of the proposed concept of an intelligent educational ecosystem. The authors utilize strong order binary relations to build a static directed acyclic graph of skills based on existing national education standards, professional area standards, vacancy requirements, competency maps, and regulatory documents. Authors provide definitions for required skills and developed skills for a given course. Another strong order binary relation for courses is determined using a skills graph and terms defined previously, which is necessary for constructing a directed acyclic graph of courses. The authors present to use a topological sorting algorithm to find out the traversal order of the course graph. In conclusion, that connection between courses and skills can be used later to effectively reduce search space and find possible available education pathways on that directed acyclic graph of courses.

**Keywords:** intelligent educational ecosystem, graph theory, binary relation, educational resource, skills

**For citation:** Obolensky D.M., Shevchenko V.I. 2022. Connection Between Courses and Skills in the Intelligent Educational Ecosystem. Economics. Information technologies, 49(2): 375–382 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-375-382

---



## Введение

Концепция интеллектуальной образовательной экосистемы, представленная в ряде работ [Оболенский, Шевченко, 2019; Оболенский, Шевченко, 2020], использовала множество компетенций некоторой специальности  $sp$  для формализации графа дисциплин  $DACG(sp)$ . Для этого использовалось некоторое бинарное отношение  $\leq_c$ . Рассмотрим подробнее формализацию взаимосвязи дисциплин и компетенций с помощью определения данного бинарного отношения с целью формирования индивидуальных образовательных траекторий [Гримута, Шевченко, 2019; Оболенский, Шевченко, 2020; Серебровский и др., 2013].

Компетенции не могут быть освоены в случайном порядке [Кравец, Заславская, 2012]. Содержание образовательной программы и список осваиваемых компетенций для выбранного направления подготовки в Российской Федерации регулируется Федеральными Государственными Образовательными Стандартами (ФГОС) [ФГОС, 2016; ФЗ РФ, 2012], а также нормативной документацией, например, методиками и картами компетенций [ФГОС, 2016; Козлова и др., 2017; Мащенко и др., 2017].

Для таких компетенций также могут быть указаны требования к уровню знаний обучающегося, что может быть также представлено в виде требования наличия у обучающегося некоторых других компетенций [ФГОС, 2016].

Таким образом, нетрудно заметить, что в данном случае существует некоторое отношение порядка, связывающее компетенции друг с другом. Формализуем данный подход для некоторого направления подготовки  $sp$ .

### Формализация связи дисциплин и компетенций

Определим также для множества  $SSP(sp)$  [Оболенский, Шевченко, 2020] для выбранного направления  $sp$  бинарное отношение [Лаврентьев, Шабат, 1972] строгого порядка  $<_s$ , связывающее две компетенции.

Если для произвольных компетенций  $s_i$  и  $s_j$  выполняется данное бинарное отношение  $s_i <_s s_j$ , то это означает, что для освоения компетенции  $s_i$  необходимо освоить предварительно компетенцию  $s_j$ .

Если для произвольных компетенций  $s_i$  и  $s_j$  не выполняются соотношения  $s_i <_s s_j$  или  $s_j <_s s_i$ , то это означает, что компетенции  $s_i$  и  $s_j$  несравнимы, т. е. нельзя сказать, в каком порядке их следует осваивать.

Таким образом, для выбранной специальности  $sp$ , задав функцию  $SSP(sp)$  и бинарное отношение  $<_s$ , можно сформировать направленный ациклический граф [Кормен и др. 2005; Харари, 2003; Любченко, 2011; Туласираман, Свами, 1992] освоения данных компетенций  $DASG(sp)$  (1):

$$DASG(sp) = \langle SSP(sp), ESP_s(sp) \rangle, \quad (1)$$

где множество  $ESP_s(sp)$  задано следующим образом (2):

$$ESP_s(sp) = \{(s_i, s_j) \mid s_i \in SSP(sp), s_j \in SSP(sp), s_i <_s s_j\}. \quad (2)$$

В качестве вершин данного графа для выбранного направления подготовки  $sp$  мы используем множество  $CSP(sp)$ . В качестве рёбер графа используется множество  $ESP(sp)$ , т. е. такие пары  $(c_i, c_j)$ , состоящие из элементов множества  $CSP(sp)$ , для которых выполняется заданное бинарное отношение  $<_s$ .

Пример данного графа  $DASG(sp)$  представлен на рис. 1.

Согласно Федеральным государственным стандартам, а также рабочим программам дисциплин, каждый курс или дисциплина могут иметь требования к входным результатам обучения, необходимые для освоения данного курса или дисциплины [ФГОС, 2016]. Пререквизитами модуля (дисциплины) называются дисциплины, развивающие знания и компетенции, на которых базируется данный модуль (курс, дисциплина). Постреквизитами модуля или дисциплины называются дисциплины, которые базируются на данном модуле (курсе, дисциплине) [ФГОС, 2016]. Благодаря данным определениям можно определить отношение  $<_c$ , и связать множества дисциплин и компетенций.

Определим отношение  $<_c$  с помощью графа  $DACG(sp)$ . Ранее было определено, что каждая компетенция  $s$  может требовать наличие каких-то других компетенций из соответствующего множества  $S$ . Эти компетенции являются требуемым уровнем знаний для желаемого освоить данную компетенцию. Обозначим данное множество требуемых компетенций для выбранного навыка  $s$  как пререквизиты компетенции  $deps(s)$  (3):

$$deps(s): S \rightarrow S', \forall u \in S': uR_s^- s \quad (3)$$

где бинарное отношение  $R_s^- \subseteq R_{<_s}$  и является транзитивным замыканием множества  $R_{<_s}$ , представляющего собой отношение  $<_s$ .

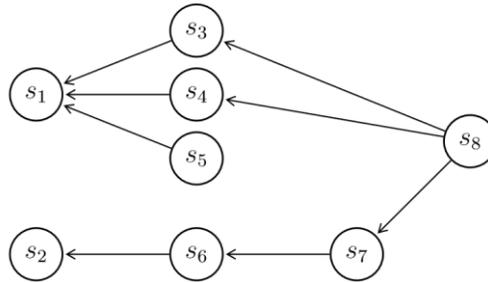


Рис. 1. Пример графа  $DASG(sp)$   
 Fig. 1. Example of the  $DASG(sp)$  graph

Пример множества зависимостей представлен на рис. 2. Красным цветом обозначены зависимости компетенций  $s_3, s_4$  и  $s_5$  а зеленым – зависимость навыка  $s_7$ . В частности, навык  $s_2$  не является прямой зависимостью навыка  $s_7$ , хотя соотношение  $s_2 <_s s_7$  выполняется в силу свойства транзитивности отношения  $<_s$ .

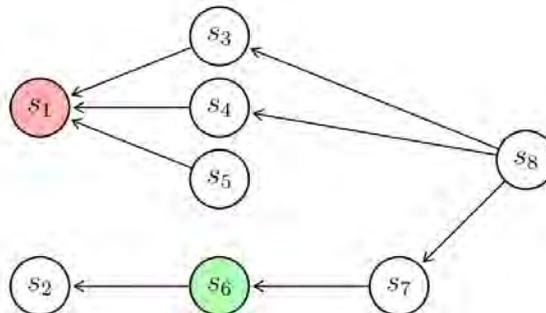


Рис. 2. Пример множества зависимостей компетенции  
 Fig. 2. An example of a set of competence dependencies

Каждый курс или дисциплина может иметь определённые входные требования к компетенциям и навыкам обучающегося пользователя. Ранее мы определили множество  $SC(c)$  – это множество компетенций, которые могут быть развиты при освоении соответствующей дисциплины  $c$ . Таким образом, выразим данные требования – множество зависимостей дисциплины – требования к полученным знаниям через объединение множеств зависимостей каждой из компетенций, развиваемых данной дисциплиной (4):

$$deps(c) = \bigcup_{i=1}^{|SC(c)|} deps(s_i), s_i \in SC(c). \quad (4)$$

Таким образом, множество зависимостей дисциплины — это те компетенции, которые необходимо освоить до начала освоения самой дисциплины, при этом из данного множества исключены транзитивные зависимости, возникающие из отношения строго порядка  $<_s$ .



Также дисциплина (курс)  $c_i$  может иметь пустое множество зависимостей  $deps(c_i) = \emptyset$ , это означает, что никакие компетенции и навыки для освоения данной дисциплины не требуются, её может изучать любой желающий.

Если благодаря дисциплине  $c_i$  мы получаем навыки, являющиеся требуемыми для курса  $c_j$ , то, очевидно, необходимо изучить  $c_i$  раньше, чем  $c_j$ . Таким образом, если некоторый курс  $c_i$  удовлетворяет, частично либо полностью, зависимости курса  $c_j$ , то можно сделать вывод, что  $c_i <_c c_j$  (5):

$$c_i <_c c_j, \text{ если } deps(c_j) \cap SC(c_i) \neq \emptyset \text{ и } SC(c_j) \cap deps(c_i) = \emptyset. \quad (5)$$

Во всех остальных случаях, если не выполняются условия  $c_i <_c c_j$  или  $c_j <_c c_i$ , то дисциплины  $c_i$  и  $c_j$  являются несравнимыми с помощью отношения  $<_c$ .

Так как отношение  $<_s$  является бинарным отношением строгого порядка, то не составит труда доказать, что  $DACG(sp)$ , определенный на основе данного отношения, является ориентированным ациклическим графом [Харари, 2003].

Рассмотрим пример. Пусть задано некоторое множество курсов  $C = \{c_1, c_2, c_3\}$  и некоторое множество компетенций  $S$ :

$$S = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8, s_9, s_{10}, s_{11}\}.$$

Бинарное отношение  $<_s$  для элементов множества  $S$  задано следующим образом:

$$s_1 <_s s_3, s_1 <_s s_4, s_1 <_s s_5, s_2 <_s s_6, s_6 <_s s_7, s_3 <_s s_8, \\ s_4 <_s s_8, s_7 <_s s_8, s_8 <_s s_9, s_9 <_s s_{10}, s_9 <_s s_{11}.$$

Соответствующий граф компетенций  $DASG$  представлен на рис. 3.

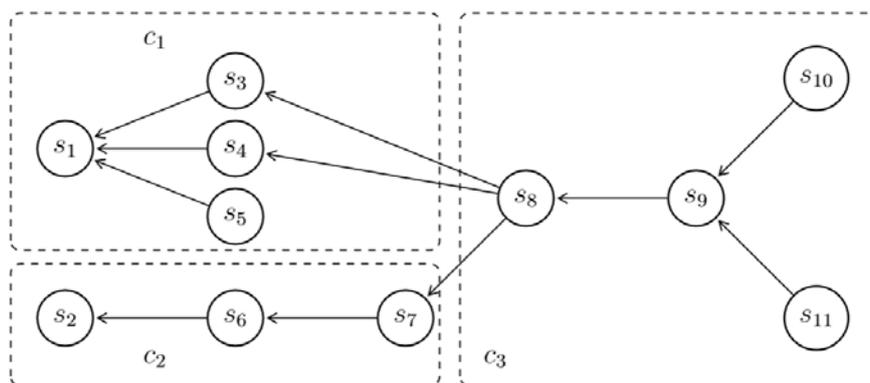


Рис. 3. Пример графа компетенций и их взаимосвязи с дисциплинами  
 Fig. 3. An example of a graph of competencies and their relationship with disciplines

Функция  $SC$  для элементов множества  $C$  задана следующим образом:

$$SC(c_1) = \{s_1, s_3, s_4, s_5\} \\ SC(c_2) = \{s_2, s_6, s_7\} \\ SC(c_3) = \{s_8, s_9, s_{10}, s_{11}\}$$

Необходимо построить граф  $DACG(sp)$  с помощью элементов множества  $C$ .

Для решения данной задачи необходимо определить бинарное отношение  $<_c$ . Так как бинарное отношение  $<_s$  задано заранее в графовом виде, то можно рассчитать соответствующие значения функций  $deps(c)$  для каждого  $c \in C$ :

$$deps(c_1) = \emptyset \\ deps(c_2) = \emptyset \\ deps(c_3) = \{s_3, s_4, s_7\}$$

Множество зависимостей  $deps(c_3)$  представлено на рис. 4.

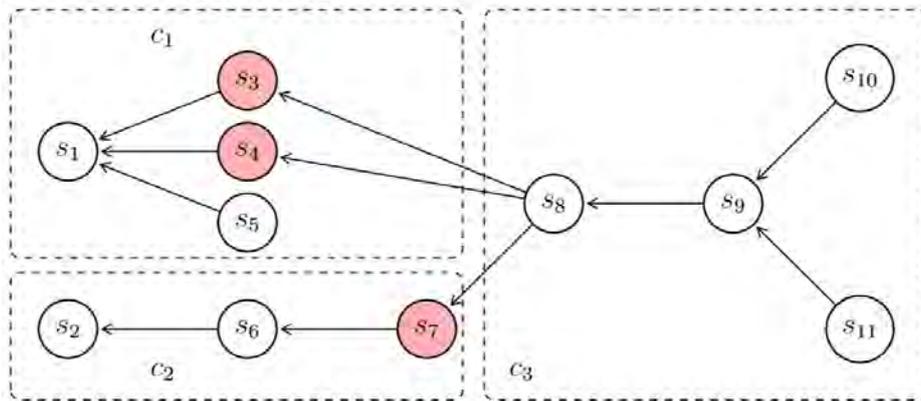


Рис. 4. Пример элементов множества  $deps(c_3)$   
 Fig. 4. Example of elements of the set  $deps(c_3)$

Определим бинарное отношение  $<_c$  для каждого из элементов множества  $C$ .

Для пары  $(c_1, c_2)$  –  $c_1$  несравним с  $c_2$ :

$$deps(c_1) \cap SC(c_2) = \emptyset, deps(c_2) \cap SC(c_1) = \emptyset, \Rightarrow c_1 \notin \prec_c c_2$$

Для пары  $(c_1, c_3)$  –  $c_1$  является пререквизитом  $c_3$ :

$$deps(c_3) \cap SC(c_1) = \emptyset, deps(c_1) \cap SC(c_3) = \emptyset, \Rightarrow c_1 \prec_c c_3$$

Для пары  $(c_2, c_3)$  –  $c_2$  является пререквизитом  $c_3$ :

$$deps(c_3) \cap SC(c_2) = \emptyset, deps(c_2) \cap SC(c_3) = \emptyset, \Rightarrow c_2 \prec_c c_3$$

При этом порядок обхода вершин данного направленного ациклического графа [Туласираман, Свами, 1992; Евстигнеев, 1985] может быть получен при помощи топологической сортировки [Харари, 2003; Карлов, 2018], причём вариантов обхода графа может быть несколько [Карлов, 2018].

Тогда можно построить итоговый граф изучения дисциплин  $DACG(sp)$  (рис. 5).

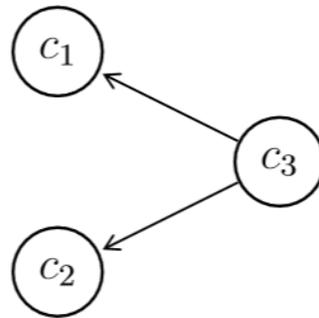


Рис. 5. Пример графа  $DACG(sp)$   
 Fig. 5. Example of the  $DACG(sp)$  graph

Для полученного графа допустимы следующие варианты топологической сортировки:

$$(c_1, c_2, c_3)$$

$$(c_2, c_1, c_3)$$

Таким образом, формализовав порядок освоения компетенций  $<_s$ , можно построить направленный ациклический граф навыков  $DASG(sp)$  для некоторого направления подготовки  $sp$ . Данный граф статичен и изменяется только при изменении нормативных документов и актов.

Установив взаимосвязь некоторой дисциплины  $c$  и развиваемых с её помощью компетенций  $SC(c)$ , получена возможность устанавливать порядок прохождения данных дисциплин  $<_c$  и сформировать направленный ациклический граф курсов  $DACG(sp)$ .



## Заключение

Определение взаимосвязи данных графов имеет большое значение. Компетенции могут быть получены как из нормативных документов, так и из списка актуальных вакансий работодателей. В свою очередь, существует большое количество систем дистанционного образования, предоставляющее доступ к различным курсам [Оболенский, Шевченко, 2020]. Использование бинарного отношения  $\leq_c$  позволяет связать компетенции и курсы, а применение графов позволяет значительно сократить пространство поиска в ходе работы системы подготовки рекомендаций в интеллектуальной образовательной экосистеме [Оболенский, Шевченко, 2020]

В дальнейших работах будут изучаться способы автоматизированного построения графа компетенций при помощи парсинга онлайн-ресурсов с вакансиями, алгоритм формирования рекомендаций [Оболенский, 2020; Оболенский, 2021] в интеллектуальной образовательной экосистеме, а также влияние весовых характеристик ребер [Левитин, 2006; Алексеев, Таланов, 2005] графов дисциплин и графов компетенций для формирования индивидуальной образовательной траектории.

## Список литературы

- Алексеев В.Е., Таланов В.А. 2005. Глава 3.4. Нахождения кратчайших путей в графе. Графы. Модели вычислений. Структуры данных. Нижний Новгород: Издательство Нижегородского гос. университета, 236–237.
- Гримута А.В., Шевченко В.И. 2019. Обзор программных систем управления обучением, используемых высшими учебными заведениями. Сборник статей всероссийской студенческой научно-технической конференции «Мир компьютерных технологий». Севастополь: Севастопольский государственный университет. 224–229. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41381634> (дата обращения: 20.02.2020)
- Евстигнеев В.А. 1985. Глава 3. Итеративные алгоритмы глобального анализа графов. Пути и покрытия. Применение теории графов в программировании. Под ред. А. П. Ершова. Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 138–150.
- Карлов, Б.Н., Наймушин А.В. 2018. Равномерная поуровневая укладка графов. Вестник Тверского государственного университета. Серия: Прикладная математика. 2: 85–98. DOI 10.26456/vtpmk496.
- Козлова Е.С., Черкасов А.М., Макашова В.Н., Давлеткиреева Л.З. 2017. Проектирование функциональных возможностей курса системы дистанционного обучения высших школ с учетом индивидуальной траектории обучающихся. International Journal of Open Information Technologies. 5(4): 78–84.
- Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К., 2005. Алгоритмы: построение и анализ. Под ред. И.В. Красикова. 2-е издание. М.: Издательский дом «Вильямс», 1296.
- Кравец О.Я., Заславская О.Ю. 2012. Компетентностная парадигма построения индивидуальной образовательной траектории на основе обратной связи в системе управления обучением. Новый университет. 2(11): 3–11.
- Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. 1972. Методы теории функций комплексного переменного. 4-е изд. М.: Наука.
- Левитин А.В. 2006. Глава 9. Жадные методы: Алгоритм Дейкстры. Алгоритмы. Введение в разработку и анализ. М.: Вильямс 189–195.
- Любченко В.В., Шинкарюк О.С. 2011. Метод будування навчальної траєкторії в умовах мобільного навчання. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. 17: 81–85.
- Мащенко Е. Н., Шевченко В. И., Ченгарь О.В. 2017. Современные информационные технологии в дистанционном образовании. Сборник статей Всероссийской научно-технической конференции «Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании "ИНФОТЕХ-2017"». Севастополь: ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет", 116–119. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32238461> (дата обращения: 20.02.2020)
- Оболенский Д.М., Шевченко В.И. 2019. Интеллектуальные образовательные экосистемы. Сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. «DICTUM – FACTUM: от исследований к стратегическим решениям». Севастополь. 162–171. DOI: 10.32743/dictum-factum.2020.162-1714e4

- 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
- Оболенский Д.М., Шевченко В.И. 2020. Обзор современных методов построения рекомендательных систем на основе коллаборативной фильтрации. Мир компьютерных технологий: Сборник статей всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Севастополь, 6–10 апреля 2020 года. Науч. редактор Е.Н. Машенко. Севастополь: СевГУ, 97–102.
- Оболенский Д.М., Шевченко В.И. 2021. Обзор современных методов построения рекомендательных систем на основе контента и гибридные системы. Мир компьютерных технологий: сборник статей всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Севастополь, 05–09 апреля 2021 года. Министерство науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет. Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет». 151–156.
- Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника (уровень бакалавриата): приказ Министерства образования и науки РФ от 12 января 2016 г. № 5.
- Серебровский В.В., Ткаченко А.В., Ткаченко А.И. 2013. Инновационные технологии в образовании: обучение по индивидуальной траектории. Известия Юго-Западного государственного университета. 1(46): 26–31.
- Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_140174](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174), свободный.
- Харари Р., 2003. Теория графов под ред. Г.П. Гаврилова. М.: Едиториал УРСС. 296.
- Thulasiraman K.; Swamy, M.N.S. 1992. "5.7 Acyclic Directed Graphs", Graphs: Theory and Algorithms, John Wiley and Son, 118.

## References

- Alekseev V.E., Talanov V.A. 2005. Chapter 3.4. Finding the shortest paths in a graph // Graphs. Computation Models. Data structures. Nizhny Novgorod: Publishing House of the Nizhny Novgorod State. University, 236-237.
- Grimuta A.V., Shevchenko V.I. 2019. Overview of the learning management software systems used by higher education universities. Collection of articles of the All-Russian Student Scientific and Technical Conference "World of Computer Technology". Sevastopol: Sevastopol State University. 224-229. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41381634> (Accessed: 02.20.2020)
- Evstigneev V.A. 1985. Chapter 3. Iterative algorithms for global graph analysis. Paths and coverings. Application of graph theory in programming. Ed. A.P. Ershov. Moscow: Science. The main edition of the physical and mathematical literature. 138-150.
- Karlov B.N., Naymushin A.V. 2018. Ravnomernaya pourovnevaya ukladka grafov [Uniform level-by-level stacking of graphs] Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Prikladnaya matematika. [Bulletin of Tver State University. Series: Applied Mathematics]. 2: 85-98. DOI 10.26456/vtpmk496
- Kozlova ES, Cherkasov AM, Makashova VN, Davletkireeva L.Z. 2017. Designing the functional capabilities of the distance learning system's course of higher schools taking into account the individual trajectory of students. International Journal of Open Information Technologies. 5(4): 78-84.
- Cormen T.H.; Leiserson, C.E.; Rivest, R.L. 1990. Introduction to Algorithms (1st ed.). MIT Press and McGraw-Hill. ISBN 0-262-03141-8.
- Kravets O.Ya., Zaslavskaya O.Yu. 2012. Competence paradigm for constructing an individual educational path based on feedback in a learning management system. New University. 2(11): 3-11.
- Lavrentiev M.A., Shabat B.V., 1972. Methods of the theory of functions of a complex variable. 4th ed. M.: Nauka.
- Levitin A.V., 2006. Chapter 9. Greedy Methods: Dijkstra's Algorithm. Algorithms. Introduction to the development and analysis. M.: Williams. 189–195.
- Lyubchenko V.V., Shinkaryuk O.S. 2011. A method of constructing a learning path in the conditions of mobile learning. Vestnik of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute": collection of scientific papers. Thematic Issue: Informatics and Modeling, 17: 81-85.



- Mashchenko E.N., Shevchenko V.I., Chengar O.V., 2017. Modern information technologies in distance education. Collection of articles of the All-Russian Scientific and Technical Conference "Information Technologies and Information Security in Science, Technology and Education "INFOTECH-2017"". Sevastopol: Sevastopol State University. 116-119. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32238461> (Accessed: 02.20.2020)
- Obolensky D.M., Shevchenko V.I. 2020. Intelligent Educational Ecosystems. Proceedings of "DICTUM - FACTUM: from Research to Policy Making". Sevastopol, December 5-6, 2019. 162-171. <https://doi.org/10.32743/dictum-factum.2020.162-171>
- Obolensky D.M., Shevchenko V.I. 2020. A conceptual model of the intelligent educational ecosystem. Economics. Information technologies. 47(2): 390–401 (in Russian). DOI: 10.18413/2687-0932-2020-47-2-390-401
- Obolensky D.M., Shevchenko V.I. 2020. Obzor sovremennykh metodov postroeniya rekomendatel'nykh sistem na osnove kollaborativnoy fil'tratsii [Review of modern methods of building content-based recommendation systems and hybrid systems] Mir komp'yuternykh tekhnologiy: Sbornik statey vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh [The World of computer technology: a collection of articles of the All-Russian scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists], Sevastopol', 06-10 aprelya 2020 goda. Nauch. redaktor E.N. Mashchenko. Sevastopol': SevGU, 97-102.
- Obolensky D.M., Shevchenko V.I. 2021. Obzor sovremennykh metodov postroeniya rekomendatel'nykh sistem - na osnove kontenta i gibridnye sistemy [Review of modern methods of building content-based recommendation systems and hybrid systems] Mir komp'yuternykh tekhnologiy: sbornik statey vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh [The World of computer technology: a collection of articles of the All-Russian scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists], Sevastopol', 05–09 aprelya 2021 goda / Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya RF, Sevastopol'skiy gosudarstvennyy universitet. – Sevastopol': Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Sevastopol'skiy gosudarstvennyy universitet", 2021. – S. 151-156.
- Ob utverzhdenii federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo standarta vysshego obrazovaniya po napravleniyu podgotovki 09.03.01 Informatika i vychislitel'naya tekhnika (uroven' bakalavriata): prikaz Ministerstva obrazovaniya i nauki RF ot 12 yanvarya 2016 g. №5
- Serebrovsky V.V., Tkachenko A.V., Tkachenko A.I. (2013). Innovative technologies in education: training using an individual path. Proceedings of the Southwestern State University, No. 1 (46), 26- 31.
- Thulasiraman K.; Swamy, M.N.S. 1992., "5.7 Acyclic Directed Graphs", Graphs: Theory and Algorithms, John Wiley and Son, 118
- Cormen T.H., Leiserson C.I., Rivest R.L., Stein C. 2006. Algorithms: construction and analysis. Introduction to Algorithms. 2nd ed. M.: "Williams". 1296.
- Federal Law of December 29, 2012 No. 273-ФЗ On Education in the Russian Federation. [Electronic resource]. Access mode: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_140174](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174), free.
- Harary R., 2003. Graph theory pod red. G.P. GavriloVA. M.: Editorial URSS. 296.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Оболенский Денис Михайлович**, аспирант кафедры информационных технологий и компьютерных систем ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Россия

**Denis M. Obolensky**, Postgraduate Student of the Department of Information Technologies and Computer Systems, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

**Шевченко Виктория Игоревна**, кандидат технических наук, доцент, зав. базовой кафедрой корпоративных информационных систем ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Россия

**Victoria I. Shevchenko**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Base Department of Corporate Information Systems Sevastopol State University, Sevastopol, Russia



УДК 004.03 + 630\*3

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-383-393

## **Информационная система управления лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0»: структура, оценка эффективности**

**Васенёв М.Ю.**

Поволжский государственный технологический университет  
Россия, 424000, г. Йошкар-Ола, ул. Панфилова, д. 17  
E-mail: AspIVS16.20@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются вопросы, касающиеся технико-технологической модернизации лесного комплекса Российской Федерации. Отмечается ряд проблем, сдерживающих развитие данной отрасли, среди которых и относительно низкий уровень автоматизации и цифровизации процессов. Выделяются наиболее актуальные направления научных изысканий и разработок в области лесной промышленности и лесного хозяйства, рассматриваются существующие достижения отечественных и иностранных исследователей. Приводится и описывается структура информационной системы управления лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0». Даются комментарии к схеме: рассматриваются задача по оценке качества транспортировки леса с использованием метода многокритериального анализа TOPSIS, вопрос о прогнозировании ресурса агрегатов лесной машины. Предлагается группа показателей для оценки эффективности системы. Делаются выводы, отмечается необходимость формирования более комфортных условий для модернизации лесной науки и образования, увеличения объёма инвестиций в лесной комплекс Российской Федерации.

**Ключевые слова:** лесной комплекс, автоматизация и цифровизация, Индустрия 4.0, TOPSIS, эффективность системы

**Для цитирования:** Васенёв М.Ю. 2022. Информационная система управления лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0»: структура, оценка эффективности. Экономика. Информатика, 49(2): 383–393. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-383-393

---

## **Harvesting Management Information System Within the Frameworks of the «Industry 4.0»: Structure, Estimate of Efficiency**

**Mikhail Yu. Vasenev**

Volga State University of Technology  
Russia, 424000, Yoshkar-Ola, Panfilova St., b. 17  
E-mail: AspIVS16.20@gmail.com

**Abstract.** This article considers questions concerning the techno-technological modernization of the Russian Federation forest complex. There are mentioned many problems restraining the progress of this sector, among them is the lower level of automation and digitalization of processes. There are highlighted the most actual trends of scientific researches and developments in the area of forest industry and forestry, there are considered current achievements of native and foreign explorers. There is provided and described the structure of harvesting management information system within the frameworks of the «Industry 4.0» conception. There are given some comments to the scheme: the task of logging quality estimation with the use of the multiple criteria analysis TOPSIS, a question of the resource forecasting of the forest machine units are considered. The indicator set for the estimate of harvesting system efficiency is suggested. There are made some conclusions, the requirement of forming more comfortable conditions for the modernization of forest science and education, enlargement of the investment amount in the Russian forest complex is mentioned.

**Keywords:** forest complex, automation and digitalization, Industry 4.0, TOPSIS, system effectiveness



**For citation:** Vasenev M.Yu. 2022. Harvesting Management Information System Within the Frameworks of the «Industry 4.0»: Structure, Estimate of Efficiency. Economics. Information technologies, 49(2): 383–393 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-383-393

## Введение

В настоящее время вклад лесного комплекса в экономику РФ существенно ниже аналогичного показателя других стран, схожих по объемам запасов и заготовки древесины (например, в Швеции и Финляндии этот показатель составляет до 5 % ВВП, в России – 0,5 % на 2019 год). Отчасти это связано с тем, что отечественный производитель преимущественно нацелен на сегменты производства с низкой добавленной стоимостью (кругляк и пиломатериалы), что влечёт за собой недоиспользование экспортного потенциала. Одновременно с этим существуют проблемы, которые сдерживают развитие лесного комплекса России [Постановление Правительства РФ №1769, 2021], среди них:

- нехватка актуальных сведений об имеющихся лесных ресурсах;
- недостаточная эффективность системы охраны и защиты лесов;
- ограниченный объем внутреннего рынка продукции переработки леса;
- недостаточный уровень материально-технического, научного обеспечения;
- относительно низкий уровень автоматизации и цифровизации процессов отрасли.

Остановимся на последнем пункте. Что позволит преодолеть техническое отставание лесной отрасли, приступить к её технологической трансформации?

Что если для более глубокого понимания и исследования процессов в лесной отрасли обратиться к возможностям системного анализа?

Помимо этого стоит также обратиться к технологиям концепции «Индустрия 4.0», ныне уже являющейся синонимом цифровой трансформации; явлением, которое требует определённого пересмотра взглядов на устоявшиеся тренды в той или иной отрасли.

Итак, *целью* данной работы является рассмотрение информационной системы управления лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0».

В связи с этим необходимо решить следующие *задачи*:

1. Провести обзор существующих разработок отечественных и иностранных исследователей в области лесозаготовок.
2. Привести и описать структуру рассматриваемой системы и дать необходимые комментарии.
3. Предложить показатели для оценки эффективности данной системы.

## Системный анализ в области лесозаготовок

Какие направления «рассматривает» системный анализ в лесной промышленности? Можно выделить следующие (также примем во внимание тенденции лесного хозяйства, эти отрасли взаимопересекаются в ряде аспектов) [Tóth, 2020]:

- Управление лесом и планирование.
- Оценка состояния лесов и проблемы обезлесивания.
- Транспортировка леса и лесоматериалов, цепочки поставок.
- Моделирование распространения лесных пожаров, их прогнозирование, а также оценка рисков.
- Оценка влияния инфраструктуры в местах лесозаготовительных работ на местобитания диких животных.
- Применение технологий «data science» и машинного обучения в лесной отрасли.
- Автоматизация лесозаготовительной техники и повышение производительности труда лесозаготовительных бригад.

- Сокращение производственного травматизма рабочих и операторов ЛЗМ.
- Оценка влияния изменения климата на лесные ресурсы и т. д.

Далее рассмотрим некоторые существующие достижения отечественных и иностранных исследователей.

*Коллективом учёных института космических исследований РАН* была разработана Информационная система ВЕГА-Лес. Она позволяет получать информацию о качественных и количественных характеристиках лесных насаждений. Например, о повреждениях лесов пожарами, площади и степени повреждений лесов под воздействием различных природных факторов, объемах промышленной рубки леса, бюджете углерода в лесах [ИС ВЕГА-ЛЕС, 2020].

*Во Всероссийском научно-исследовательском институте лесоводства и механизации лесного хозяйства* были разработаны алгоритмы расчетов запасов углерода в биомассе лесов, поглощения углерода биомассой лесов, эмиссий углерода, вызванных антропогенными и природными факторами [Мальшева и др., 2020].

*В институте экологии и природопользования Казанского федерального университета* была разработана информационная система «Флора», содержащая информацию о видовом составе, эколого-ландшафтной характеристике растительных сообществ, встречающихся на территории республики Татарстан. Данные из ИС можно экспортировать в экспертные системы программы Juice, для постобработки флористических списков и классификации с целью выявления экосистемного разнообразия и определения категорий экотопов по EUNIS Habitat Classification [Шайхутдинова, Рогова, 2020].

*В Амурском филиале WWF* была создана цифровая платформа «Кедр». С её помощью можно выявлять незаконные рубки в кедрово-широколиственных лесах на основе автоматического анализа космических снимков для вегетационного и снежного периода. Сопоставляя эти снимки с границами разрешенного лесопользования, система выявляет изменения лесного полога. Также необходимо отметить, что данная система доступна к использованию не только лесоинспекторам, но и частным лицам, которые могут принимать участие в отслеживании лесоизменений через существующее мобильное приложение [Система КЕДР, 2017].

Компанией «Системы компьютерного зрения» было разработано мобильное приложение Smart Timber по измерению плотного объема круглого леса. В его основе лежит нейросеть, которая позволяет получать сведения о габаритах и КПД штабеля. Данный программный продукт повышает точность измерений объемов поступающей древесины. Кроме этого, можно отметить снижение влияния субъективного фактора на процесс оценивания [SmartTimber, 2020].

Уделяется большое внимание разработке систем *поддержки принятия решений (СППР)* для задач, касающихся *оптимального планирования пути при транспортировке леса*. Например, системы CADIS, ORTEC, MaxTour, FastTRUCK и т. д. Не будем заострять внимание на каждой из них ввиду того, что они обладают примерно схожими функциями. Перечислим некоторые из них: совместное планирование транспортных процессов, оценка перевозимых объёмов древесины, принятие решений по распределению сортиментов, отслеживание лесозаготовительных машин (ЛЗМ) и сортиментовозов с помощью спутниковых систем позиционирования (GPS, ГЛОНАСС), управление цепочками поставок и т. д. [Mirowski et al., 2016].

Ещё одно из распространённых направлений – *использование технологии LIDAR*, как инструмента для исследований в лесной отрасли. Чаще всего она применяется для задач таксации, таких как подсчёт количества деревьев на территории, оценка их высоты, толщины ствола, формы кроны и т. д. На первоначальном этапе платформой-носителем лазерного сканера являлись самолёты, в данный момент чаще всего используются беспилотные летательные аппараты, ввиду довольно широкого распространения и относительной дешевизны. Помимо задач таксации, решения на основе LIDAR-технологии используют для раннего выявления очагов пожаров, планирования лесных дорог с учётом рельефа территории, для координации задач заготовки и вывозки леса и даже выявления насекомых-вредителей леса. Примеры систем: Trestima, ForestIQ [Trestima, 2022].

Как уже было сказано ранее, широкое распространение получают *беспилотные летательные аппараты*, в том числе и автономные. Помимо топографических задач, целей мониторинга – они применяются для распыления ядохимикатов против вредителей, распространения семян, опыления деревьев и т. д. [Feng, Audy, 2020].

Широко применяется *технология RFID* для отслеживания потоков необработанных лесоматериалов до лесопилок, например, RFID-метки могут наноситься как на отдельные сортименты, так и на сортиментовозы. После приезда в точку назначения, метка в автоматическом режиме считывается сканером, информация о поступлении одновременно поступает как к отправителю, так и к получателю груза. Также RFID-метки могут использоваться для упрощения наведения рабочей головки манипулятора ЛЗМ на дерево и для получения информации о нём (порода, диаметр и т. д.) [Васенёв, 2018].

### Структура информационной системы управления лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0»

В рамках предыдущей статьи информационная система управления (ИСУ) лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0» была представлена в общем виде [Васенёв, 2019]. Далее представим её более подробную структуру (рис. 1).



Рис. 1. Структура ИСУ лесозаготовками в рамках концепции «Индустрия 4.0»  
 Fig. 1. Harvesting MIS structure within the frameworks of the «Industry 4.0» conception

Далее кратко опишем каждую подсистему:

- *система анализа данных о состоянии парка машин (A1)*. Осуществляет сбор и анализ информации о состоянии ЛЗМ. На основе полученных данных позволяет спрогнозировать возможные отказы компонентов и агрегатов. В дальнейшем это может помочь продлить их технический ресурс, а также сократить количество простоев техники. Более того, это даст избежать поломок некоторых важных узлов и механизмов, которые в свою очередь могут оказаться причиной серьёзных происшествий;

- *система агрегирования информации об окружающей среде (A2)*. Осуществляет сбор различных данных, например, о состоянии почвы, рельефе территории лесозаготовок. Информация о погодных условиях, о предпочтительных деревьях для рубки, скорости роста молодняка также принимаются во внимание;

- *система оценки эффективности рубки леса, его транспортировки (A3)*. Позволяет синхронизировать работу ЛЗМ, спланировать их перемещение по территории лесозаготовок. Это, в свою очередь, влияет на эффективность рубок, а также уменьшает негативный урон почвам. Формирует оптимальные маршруты для транспортировки древесины до мест хранения и складирования;

- *система взаимодействия с лесопромышленными предприятиями (A4)*. Позволяет формировать приоритеты на вырубку деревьев в зависимости от требований потребителей. Решает задачи планирования и управления процессами снабжения, производства, складирования и доставки товаров;

- *система управления лесозаготовками (A5)* – объединяет и анализирует информацию, полученную от всех систем и машин.

## Комментарии к схеме

### 1. Многокритериальное принятие решений

Многокритериальный анализ является инструментом, с использованием которого принимаются решения в различных ситуациях. То есть посредством анализа конкретного набора альтернатив и выбора среди них наиболее предпочтительного предоставляется помощь лицу, принимающему решение (ЛПР) [Петросян и др, 2012].

Выбор наиболее предпочтительного решения проиллюстрируем на примере задачи по оценке качества транспортировки леса (см. систему A3).

В общем виде данная задача может быть представлена в виде матрицы  $D$ :

$$D = \begin{matrix} & C_1 & \dots & C_n \\ A_1 & \left( \begin{matrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \dots & & \dots \\ A_m & \left( \begin{matrix} x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \right) \end{matrix} \right), \end{matrix}$$

где  $A_1 - A_m$  – набор альтернатив;  $C_1 - C_n$  – критерии, по которым оценивается каждая альтернатива;  $x_{ij}$  – значение критерия;  $m, n$  – число альтернатив/критериев. Кроме того, у каждого

критерия есть свой вес  $w_i$  ( $i = 1..n$ ), причём  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

Существуют различные методы для решения данной задачи, в рамках данной работы остановимся на методе *TOPSIS*, на его «классической» версии. Этот метод довольно прост, обладает хорошей вычислительной эффективностью, а также универсален. Из недостатков – некоторая субъективность (необходима корректная обработка результатов экспертных оценок при определении весов показателей).

В чём заключается смысл данного метода? Самая подходящая альтернатива должна находиться ближе всех остальных альтернатив к позитивному идеальному решению и дальше всех от негативного идеального решения [Аннадурдыев, 2018].

*Алгоритм метода* [Krohling, Pacheco, 2015]:

Шаг 1. Формирование матрицы нормализованных значений ( $r_{ij}$ ).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, i = 1..m; j = 1..n$$

Шаг 2. Формирование матрицы взвешенных нормализованных значений ( $p_{ij}$ ).

$$p_{ij} = w_i * r_{ij}, i = 1..m; j = 1..n$$



Шаг 3. Нахождение идеальных позитивного и негативного решений.

$$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_m^+)$$

$$A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_m^-),$$

где

$$p_j^+ = \left( \max_i p_{ij}, j \in J_1; \min_i p_{ij}, j \in J_2 \right)$$

$$p_j^- = \left( \min_i p_{ij}, j \in J_1; \max_i p_{ij}, j \in J_2 \right).$$

Шаг 4. Определение L2-норм для позитивного и негативного идеальных решений.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_j^+ - p_{ij})^2},$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_j^- - p_{ij})^2}.$$

Шаг 5. Расчёт относительной близости к позитивному идеальному решению

$$\xi_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}.$$

Шаг 6. Упорядочивание альтернатив согласно величине относительной близости.

Рассмотрим следующий пример:

Постановка задачи\*  
 Problem statement

N	Наименование критерия	Альтернативы					↑↓	Вес критерия
		1	2	3	4	5		
1	Суммарная производительность сортиментовозов (м <sup>3</sup> )	200	250	180	300	360	max	0.1
2	Суммарная производительность погрузочно-разгрузочных машин (м <sup>3</sup> )	80	45	70	60	90	max	0.1
3	Расстояние до верхнего склада (м)	700	500	500	1000	900	min	0.2
4	Расстояние вывозки к потребителю (км)	120	100	100	200	300	min	0.13
5	Качество лесных дорог (от 1 до 5)	2	3	3	2	2	min	0.17
6	Своевременность доставки грузов (%)	80	80	90	75	70	max	0.25
7	Себестоимость перевозок сортиментовозом (руб/км)	110	120	90	110	120	min	0.05

\*Примечание: численные значения величин являются приближенными

Опустим промежуточные значения и представим результат в виде диаграммы. Как можно заметить из рис. 2., наилучшей альтернативой является вариант N3.

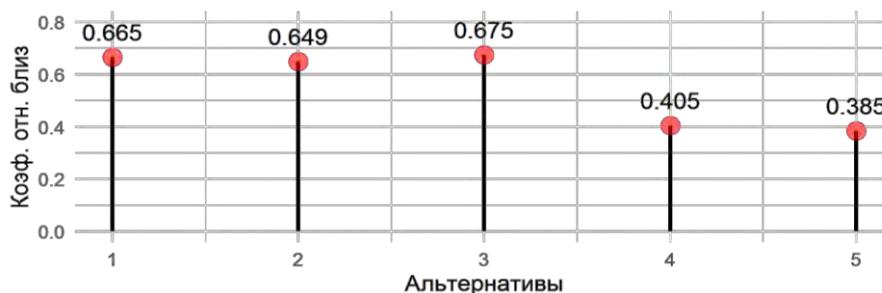


Рис. 2. Результаты работы метода TOPSIS  
Fig. 2. Working results of TOPSIS method

## 2. К вопросу о прогнозировании ресурса агрегатов ЛЗМ

Тема прогнозирования ресурса отдельных компонентов машины и самой машины довольно обширна, и рассмотреть её невозможно в рамках одной статьи, да и, наверное, ряда статей. Поэтому остановимся на вопросе определения остаточного ресурса одного из наиболее важных агрегатов ЛЗМ – кране-манипуляторе.

Некоторая современная лесная техника изначально оснащена регистратором параметров работы кране-манипуляторной установки (КМУ). В этом случае необходимая информация может передаваться удалённо через имеющиеся каналы связи через определённые промежутки времени или вноситься в базу данных посредством считывания параметров из памяти устройства на месте функционирования техники [Каминский и др., 2015].

Если ЛЗМ не оснащена таким устройством, то в таком случае наработка КМУ оценивается как:

$$N_T = C * \left( \frac{Q_{cp} * R_{cp}}{M_{cp}} \right)^3,$$

где  $N_T$  – текущее значение характеристического числа,  $C$  – число рабочих циклов, выполненных от начала эксплуатации,  $Q_{cp}$  – среднее значение массы поднимаемого груза,  $R_{cp}$  – среднее значение вылета,  $M_{cp}$  – максимальный грузовой момент [РД 10-112-2-09, 2009].

Число рабочих циклов, выполненных от начала эксплуатации, определяется как:

$$C = n * k * T,$$

где  $n$  – число циклов, выполняемых за смену,  $T$  – общее число смен, выработанных от начала эксплуатации,  $k$  – коэффициент запаса.

Время  $t$ , в течение которого КМУ может функционировать в указанном режиме, приближенно определяется как:

$$t = (N_H - N_T) / C_1 * \left( \frac{Q_{cp} * R_{cp}}{M_{cp}} \right)^3,$$

где  $N_H$  – нормативное значение характеристического числа,  $C_1$  – число рабочих циклов/год.

Остальные дефекты КМУ, такие как нарушение лакокрасочного покрытия, коррозия несущих элементов, деформации конструкций манипулятора, ослабление болтовых соединений и т. п., а также повреждения механизмов КМУ – можно выявить с использованием методов неразрушающего контроля. Например, вихретоковый, ультразвуковой, магнитографический и магнитопорошковый методы.



Электронные компоненты КМУ, датчики, энкодеры (датчики угла поворота) могут быть протестированы с помощью *средств бортовой диагностики* (при наличии) или с помощью *средств внешней диагностики* (стенды, автосканеры) [Madzhov, 2019].

### 3. К вопросу об оценке эффективности системы

Оценку эффективности системы предлагается проводить с помощью следующих показателей:

а) *Производительность (за выбранный период)*

$$P = \sum_{i=1}^N V_i,$$

где  $V_i$  – объём рубок  $i$ -ого рода деревьев, м<sup>3</sup>.

При необходимости можно раскрыть данный показатель, например, разделить объёмы по качеству сырья, диаметру сортимента и т. д.

б) *Эффективность производственного цикла*

$$MCE = \frac{T_p}{T_p + T_{qc} + T_{tr} + T_s} \rightarrow 1,$$

где  $T_p$  – время производства (рубки),  $T_{qc}$  – время контроля качества,  $T_{tr}$  – время перемещения продукции,  $T_s$  – время хранения.

в) *Уровень автоматизации процессов*

$$La = \frac{Pa}{Ps} * 100\%,$$

где  $Pa$  – количество автоматизированных технологических процессов,  $Ps$  – общее количество процессов.

г) *Уровень механизации труда*

Ряд операций на лесозаготовках до сих пор осуществляется немеханизированным способом, несмотря на то, что уже давно существуют тенденции постепенного избавления от ручных работ. На каком-то предприятии просто нет возможности закупить комплекс ЛЗМ, где-то операции заготовки леса осуществляются на гористых местностях, на которых не осуществляется применение техники или отсутствуют средства для её приобретения (такая техника уже существует, например, трелевочная канатная система Larix 3T) [Шошин, 2021].

Для того чтобы оценить данную величину, воспользуемся следующей формулой:

$$Lm = \frac{T_m}{T_m + T_r} * 100\%,$$

где  $T_m$  и  $T_r$  – трудоёмкость механизированная и немеханизированная, соответственно.

д) *Уровень экологичности рубок*

$$Le = \frac{Sc}{Srec} * 100\%,$$

где  $Sc$  – суммарная площадь рубок, включая лесные дороги,  $Srec$  – площадь рекультивированных земель, включая лесовосстановительные работы, га.

Также хочется отметить, что данный список показателей не является окончательным и может меняться в зависимости от требований производства. Могут быть добавлены такие показатели как: снижение брака при рубках, трудоёмкость, снижение затрат на осуществление технологических операций, улучшение использования материальных ресурсов, различные экономические, эргономические показатели и т. д.

## Заключение

Методы системного анализа, технологии «Индустрии 4.0» в лесной отрасли позволят добиться того необходимого прорыва, который так необходим и ожидаем в ближайшие годы. Согласно стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года, налоговые поступления от предприятий ЛПК должны будут вырасти с 91 до 189 млрд рублей, причём вклад ЛПК в экономику страны должен составить 1 % ВВП (2019 г. – 0,5 % ВВП) [Бюллетень EastRussia, 2021].

На данном этапе промедление в технологической модернизации будет оказывать негативное влияние на экономическое благосостояние не только какого-то отдельного предприятия ЛПК, но и всей страны в целом. Именно поэтому сегодня как никогда необходимо сплочение усилий государственных структур и ведомств, крупного и малого бизнеса, научных институтов и отдельных разработчиков для создания надлежащих решений и необходимых продуктов для лесного комплекса России.

Как было отмечено выше, в Российской Федерации уже есть большой задел касательно технологического и технического переоснащения лесной отрасли. Необходимо лишь только сформировать более комфортные условия для модернизации лесной науки и образования, повысить инвестиционную привлекательность сферы исследований и разработок, а также эффективности капиталовложений в указанную сферу, что в итоге позволит обеспечить технологический и интеллектуальный прорыв в соответствии с мировым уровнем [Распоряжение правительства РФ, №312-р, 2021].

## Список источников

- Система КЕДР. URL: <https://amurinfocenter.org/tools/projects/sistema-keдр/> (дата обращения 19.04.2022).
- Segezha Group завершила тестирование мобильного приложения Smart Timber по измерению плотного объема круглого леса. URL: <https://www.connect-wit.ru/> (дата обращения 19.04.2022).
- TRESTIMA™ forest inventory system. URL: <https://trestima.fordaq.com/> (дата обращения 19.04.2022).
- "Мет. рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Часть 2. Краны стреловые общего назначения и краны-манипуляторы грузоподъемные. РД 10-112-2-09". URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_238359/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_238359/) (дата обращения 21.04.2022).
- Бюллетень EastRussia: пятничный эксклюзив – лесная отрасль. URL: <https://www.eastrussia.ru/material/byulleten-eastrussia-pyatnichnyy-eksklyuziv-lesnaya-otrasl/> (дата обращения 22.04.2022).
- Распоряжение правительства РФ от 11 февраля 2021 года N 312-р. «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573658653> (дата обращения 22.04.2022).
- Постановление Правительства РФ от 18.10.2021 N 1769 "О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации "Развитие лесного хозяйства". URL: <https://base.garant.ru/402946026/> (дата обращения 19.04.2022).
- ИС ВЕГА-ЛЕС. URL: <http://forest.geosmis.ru/> (дата обращения 19.04.2022).

## Список литературы

- Аннадурдыев М.Ш. 2018. Применение метода TOPSIS при выборе маркетингового посредника. *Кант.* 2 (27).
- Васенев М.Ю. 2018. Перспективные направления автоматизации современных лесозаготовительных машин. *Системы. Методы. Технологии.* 3(39): 125–129.
- Васенёв М.Ю. 2019. «Индустрия 4.0»: использование информационных технологий для снижения техногенного воздействия лесозаготовительных машин. *International Journal of Open Information Technologies.* 7(10): 50–58.
- Каминский Л., Пятницкий И., Федоров И. 2015. О повышении безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов. *Основные средства.* 5: 104–108.



- Мальшева Н.В., Золина Т.А., Филипчук А.Н. 2020. Инструментарий ГИС в оценке поглощения, эмиссий и баланса углерода бореальных лесов России. Цифровые технологии в лесном секторе: материалы Всероссийской научно-технической конференции. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС: 99–101.
- Петросян М.О., Зеленков П.В., Ковалев И.В., Ефремова С.В. 2016. Методы многокритериального анализа решений. Решетневские чтения. 20
- Шайхутдинова Г.А. Рогова Т.В. 2020. Электронные базы данных о биоразнообразии в обеспечении требований лесопользования по стандартам FSC. Цифровые технологии в лесном секторе: материалы Всероссийской научно-технической конференции. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС: 166–168.
- Шошин А.О. 2021. Новые технологические решения при разработке заболоченного лесосечного фонда мобильными канатными трелевочными установками. Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2 (246).
- Feng, Y., & Audy, J.-F. 2020. Forestry 4.0: a framework for the forest supply chain toward Industry 4.0. *Gestão & Produção*. 27(4)
- Madzhov S. 2019. Diagnosis of Machines in the Forestry Systems. *Journal of Environmental Science and Engineering B* 8: 103–107.
- Mirowski, L., Ghaffariyan, M. R., Wise, A., Acuna, M., & Turner, P. 2016. Reducing transport costs through optimised transport planning: a case study using the FastTRUCK software tool. In *Australasian Conference on Information Systems*.
- Renato A. Krohling, André G.C. Pacheco. 2015. A-TOPSIS – An Approach Based on TOPSIS for Ranking Evolutionary Algorithms. *Procedia Computer Science*. 55: 308–317.
- Tóth S. 2020. The 17th Symposium on Systems Analysis in Forest Resources: An Introduction and Synthesis. *Forest Science*. 66(4): 424–427.

## References

- Annadurdyev M. Sh. 2018. The application of TOPSIS method in the selection of marketing intermediary. *Kant*. 2(27).
- Vasenev M.Yu. 2018. Perspective trends of modern logging machines automation. *Systems. Methods. Technologies*. 3(39): 125–129.
- Vasenev M.Yu. 2019. «Industry 4.0»: information technologies utilization for reducing the man-made impact of tree harvesting machines. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. 7(10): 50–58.
- Kaminskiy L., Pjatnitskiy I., Fedorov I. 2015. On safety benefits of exploiting cargo cranes. *Osnovnie Sredstva*. 5: 104–108.
- Malysheva N.V., Zolina T.A., Filipchuk A.N. 2020. GIS tools in the absorption estimate, emissions and carbon balance of Russian boreal forests. Digital technologies in forest complex: all-Russian scientific-technical conference proceedings. 2020. SPb: Polytech-PRESS: 99–101.
- Petrosyan M. O., Zelenkov P. V., Kovalev I. V., Efremova S. V.. 2016. Methods of multicriteria decision analysis. *Reshetnev Readings*. 20.
- Shaikhutdinova G.A., Rogova T.V. 2020. Electronic databases about biodiversity in support requests of forest administration (by standards FSC). Digital technologies in forest complex: all-Russian scientific-technical conference proceedings. 2020. SPb :Polytech-PRESS: 166–168.
- Shoshyn A. O. 2021. New technological solutions for standing skyline in waterlogged areas. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*. 2 (246): 224–235.
- Feng, Y., & Audy, J.-F. 2020. Forestry 4.0: a framework for the forest supply chain toward Industry 4.0. *Gestão & Produção*. 27(4)
- Madzhov S. 2019. Diagnosis of Machines in the Forestry Systems. *Journal of Environmental Science and Engineering B* 8: 103–107.
- Mirowski, L., Ghaffariyan, M. R., Wise, A., Acuna, M., & Turner, P. 2016. Reducing transport costs through optimised transport planning: a case study using the FastTRUCK software tool. In *Australasian Conference on Information Systems*.
- Renato A. Krohling, André G.C. Pacheco. 2015. A-TOPSIS – An Approach Based on TOPSIS for Ranking Evolutionary Algorithms. *Procedia Computer Science*. 55: 308–317.
- Tóth S. 2020. The 17th Symposium on Systems Analysis in Forest Resources: An Introduction and Synthesis. *Forest Science*. 66(4): 424–427.



**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

**Васенёв Михаил Юрьевич**, аспирант кафедры информационно-вычислительных систем, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Mikhail Yu. Vasenev**, Postgraduate Student, Information and Computing Systems Department, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia



УДК 004.912

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-394-402

## **Автоматизация обработки юридических документов на примере правового сопровождения издательской деятельности: задачи и перспективные технологии**

**Котов А.А.**

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр  
Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН),  
Россия, 14-я линия В.О., д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178  
E-mail: alexanderkotovspb@gmail.com

**Аннотация.** Деятельность субъектов в правовом русле предполагает знание требований публичных актов и их регулярных изменений. Непрерывное развитие действующей законодательной базы актуализирует внедрение средств автоматизации сопровождения правовой деятельности юридических и физических лиц. Цифровая трансформация документооборота дает возможность реализации методов искусственного интеллекта для автоматической пакетной обработки текстов с целью повышения скорости верификации юридических документов на соответствие действующим нормативно-правовым актам. По результатам исследования проведен анализ истории развития технологий автоматизации правовой деятельности, определены ключевые перспективные информационные технологии: автоматическая обработка текста, машинный перевод, интеллектуальный анализ данных, визуализация данных. Предложены классификации существующих типов нормативно-правовых документов, способов их анализа и подходов к автоматизации юридической деятельности, а также существующих информационно-аналитических компьютерных систем для правового сопровождения документооборота.

**Ключевые слова:** юриметрика, правовая кибернетика, вычислительное право, лигалтех, автоматизация издательской деятельности

**Для цитирования:** Котов А.А. 2022. Автоматизация обработки юридических документов на примере правового сопровождения издательской деятельности: задачи и перспективные технологии. Экономика. Информатика, 49(2): 394–402. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-394-402

---

## **Automating the Processing of Legal Documents on the Example of Legal Support for Publishing: Tasks and Promising Technologies**

**Alexander A. Kotov**

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences  
39, 14th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia  
E-mail: alexanderkotovspb@gmail.com

**Abstract.** The activity of subjects in the legal field requires knowledge of the requirements of public acts and their regular changes. Continuous development of the current legal framework requires the introduction of automation tools to support the legal activities of legal entities and individuals. Digital transformation of document management provides an opportunity to implement artificial intelligence methods for automatic batch processing of texts, in order to increase the speed of verification of legal documents for compliance with current laws and regulations. According to the results of the study, an analysis of the history of development of technologies for automating legal activities was carried out and key prospective information technologies were identified: automatic text processing, machine translation, data mining, data visualization. The classification of existing types of normative legal documents, methods of their analysis and approaches to the automation of legal activity, as well as existing information-analytical computer systems for legal support of document flow were proposed.

**Keywords:** jurimetrics, legal cybernetics, computational law, legal tech, publishing, legal activities automation

**For citation:** Kotov A.A. 2022. Automating the Processing of Legal Documents on the Example of Legal Support for Publishing: Tasks and Promising Technologies. Economics. Information technologies, 49(2): 394–402 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-394-402

## Введение

Рост числа нормативных правовых актов, повсеместный переход на электронный документооборот приводит к тому, что процесс верификации полнотекстовых документарных форм договоров на соответствие действующей законодательной базе создает повышенный запрос средств автоматизации. Применение электронно-цифровой подписи позволяет отказаться от документарных форм, но проверка изложенных в документах положений, зачастую повторяющихся и односложных, по-прежнему во многом производится юристами-экспертами в определенных предметных областях. С постоянным изменением содержания публичных актов возникают риски установления противоречивых требований, увеличения времени для их анализа, обновления и формирования на их основе частных актов. Фактически для участников договора, как одной из форм частного акта, больший интерес представляют риски, которые могут возникнуть из-за его подписания и реализации содержащихся в нём положений. Таким образом, модельно-алгоритмическое обеспечение автоматизации договорной деятельности должно способствовать минимизации правовых рисков для его сторон за счет повышения юридической грамотности генерируемых частных актов на основе анализа доступных источников информации, выявления противоречий и визуализации в форме пригодной для восприятия не только юристу предметной области.

Теоретическое осмысление процесса автоматизации правовой сферы началось в середине прошлого века. Одни из первых исследований в данной сфере были проведены Лии Лувингером, который ввёл понятие «юриметрика» («jurimetrics») для изучения правовой сферы посредством количественных методов [Loevinger, Lee, 1949]. По мнению автора, юриметрика должна стать следующим шагом в развитии права, посредством которого будут преодолены противоречия, существующие в данной сфере общественного знания, как это произошло с многими естественными науками. Согласно его позиции, юриметрика должна заниматься такими вопросами как количественный анализ поведения сторон в суде, применение коммуникационных и информационных наук к юридическим высказываниям, использование математической логики в праве, извлечение информации из правовых баз при помощи цифровых и технических средств, калькуляция правовой предсказуемости [Loevinger, Lee, 1961]. Рассматривая проблематику применения математики к праву, автор полагал, что она должна сделать более точными юридические заключения по конкретным вопросам, в которых анализируются юридические риски. Затем они могут быть проанализированы в электронном виде с помощью компьютерных технологий, чтобы установить степень согласованности (т. е. центральной тенденции) и противоречивости (т. е. дисперсии) среди прецедентов, соответствия (т. е. корреляции) между данным делом и множеством прецедентов. Помимо этого, автор обратил внимание на то, что наука в любом случае не предоставит ответа на вопрос о том, какой из нескольких конкурирующих интересов важнее, т. к. наука не присваивает социальные или этические ценности. Наука может предоставить данные, на основании которых можно сделать социальные или этические суждения, но принятие решения останется за человеком. Более того, даже в отношении данных и принципов, которые наука может предложить, не будет абсолютной уверенности, т. к. научные данные изложены в статистических терминах и вероятностях, а абсолюты являются антинаучными [Loevinger, Lee, 1961].

Более детально вопрос истории развития legal tech рассмотрен в русскоязычной литературе. В исследовании Грачевой А.В. подробно рассматриваются исторические вопросы становления правовой информатики [Грачева, 2019]. В исследовании Трофимова и Мецкера более детально рассмотрены исследования и эксперименты, которые были проведены для использования компьютерных методов и систем в изучении, анализе и моделировании право-



вой информации [Трофимов, Мецкер, 2020]. При этом в обоих исследованиях не затрагиваются вопросы становления дисциплины «Law & Economics», в рамках которой впервые были применены вычислительные методы, метрики для анализа правовых норм и чьи результаты по сей день используются даже судьями, например, Верховного суда США. Также оба исследования недостаточно подробно рассматривают результаты исследований, которые провел Лии Лувингер. Кроме того, в обоих исследованиях не рассмотрено такое направление как «Вычислительное право» («computational law»), которое в последнее время набирает популярность, о чем свидетельствует наличие курсов по данной тематике в рамках Массачусетского университета (MIT) [Loevinger, Lee, 1949].

Анализируя идеи Лии Лувингера, Ганс Франкен утверждал, что юриметрика должна заниматься применением вычислительных методов к юридической проблематике только при теоретической проработке и на основе четко установленных этических и политических принципов [Franken, 1982; Franken, 1983]. Для этих целей он предложил применить положения теории кибернетических систем, так как данная наука шире, чем применение лишь количественных методов. На наш взгляд, данная мысль является справедливой, т. к. право представляет систему из общеобязательных правил поведения и состоит из массы элементов, подсистем, связей и взаимодействий, которые постоянно меняются – в некоторых случаях право можно рассматривать как стохастическую крупномасштабную систему [Шková, Пка, 2016]. Кроме того, данная система обладает свойством круговой причинно-следственной связи, в связи с чем кибернетические методы могут быть применены к следующим процессам:

- Законодательный процесс – посредством проектирования систем управления.
- Правосудие – посредством использования нечеткой логики.
- Государственное и региональное управление – кибернетические методы, реализованные для экономики и менеджмента.
- Хранение и поиск юридической информации в базах данных.

В развитии указанных направлений равноценный вклад внесли ученые из СССР [Керимов], Германии, Италии, США [Jon Bing Computers and law: some beginnings].

Например, в Советском Союзе развивались следующие направления правовой информатики и кибернетики: автоматизация дактилоскопической экспертизы; создание специального языка в области информационного права; алгоритмизация юридического процесса доказывания; автоматизация почерковедческой экспертизы и иных видов экспертизы. Применительно к автоматизации экспертизы советские ученые достигли успеха: сотрудникам ЛГУ удалось создать экспертные системы на базе самообучающейся системы посредством рекуррентного конечно-сходящегося алгоритма решения систем неравенств [Трофимов, Мецкер, 2020], интеллектуальном анализе и моделировании правовой деятельности; провести успешные испытания автоматизированной дактилоскопической экспертизы, зарегистрировать промышленный образец на ЭВМ Минск-100 и определить в данном направлении западные страны, где только в 1969 году подход к разработке АДИС был разработан Джозефом Уэгстейном. При этом в вопросе автоматизации правотворчества посредством создания формального языка-посредника успех не был достигнут, из-за чего было признано, что кибернетика была непригодна для систематизации права. Как итог, задачи в данном направлении были редуцированы к созданию полнотекстовых поисковых систем для законодательной и судебной информации [Трофимов, Мецкер, 2020].

На сегодняшний день в рамках развития правовой информатики и кибернетики представлены различные системы, направленные на: 1) автоматизированную фиксацию правонарушений в сети Интернет; 2) автоматизированное заполнение юридических документов; 3) автоматизацию законодательного процесса; 4) автоматизацию юридической поддержки и консультирования; 5) автоматизацию деятельности правоприменительных органов; 6) автоматизацию процессов, связанных с судопроизводством.

Также отдельно следует отметить, что правовая сфера тесным образом связана с развитием сферы искусственного интеллекта. В 1980-х годах юридические рассуждения были одной из основных областей исследований ученых в области искусственного интеллекта. Многие считали, что подход, основанный на правилах – использование символической логики,

движков правил, экспертных систем и графов знаний – является наиболее перспективным путем к развитию искусственного интеллекта. Поэтому ранний исследовательский интерес в области ИИ был сосредоточен на системах, основанных на правилах («rule based approach»). Идея моделирования правового мышления и соблюдения законов с помощью такого рода технологий казалась идеальным полем для создания автономно рассуждающей машины. Но, несмотря на многочисленные исследовательские проекты, усилия не увенчались успехом. К началу 1990-х годов специалисты по искусственному интеллекту поняли, что недооценили сложность юридического мышления [Loevinger, Lee, 1961].

В рамках развития проблематики данного направления и преодоления существующих трудностей в юриметрике было создано отдельное направление – вычислительное право («computational law»), которое посвящено процессам автоматизации юридического мышления [Genesereth, 2021]. Отличительной чертой технологий данного направления является способность разрабатываемых систем применять нормативные акты к реальным или гипотетическим случаям без дополнительного участия специалистов-юристов. Системы вычислительного права предоставляют ответы, а не просто документы, и они делают это автономно [Genesereth, 2021]. Данная дисциплина уже преподается в таких крупных университетах, как MIT и Стэнфорд [Loevinger, Lee, 1949]. В качестве наиболее наглядного примера результата развития вычислительного права обычно приводят сервис TurboTax, посредством которого была автоматизирована подача налоговых деклараций. Согласно позиции Jeffery Atik и Valentin Jeutner, технологии квантовых вычислений должны усилить развитие вычислительного права в сферах «квантового превосходства», связанных с: решением проблем оптимизации, бремени доказывания и машинного обучения в праве [Atik, Jeutner, 2021].

В работе Трофимова Е.В., Мецкера О.Г [Трофимов, Мецкер, 2020] обоснованы преимущества применения информационных технологий при автоматизации юридической деятельности, такие как ресурсосбережение, повышение объективности, полноты и точности интеллектуальных результатов. В иных исследованиях по созданию компьютерных систем правотворческого и правоприменительного назначения описано использование предметно-ориентированных онтологий, методы интеллектуального анализа данных и естественного языка на массивах юридических документов с применением объектных графов [Васильев и др., 2019] и метрик частности терминов и обратной частотности документов (TF-IDF) [Metsker, Trofimov, Grechishcheva, 2020], методов машинного обучения, включая анализ временных рядов и регрессионные деревья.

### **Технологии автоматизации обработки юридических документов для издательской деятельности**

Предметом данного исследования являются средства автоматической обработки текстовой информации и проверки соответствия правовой базе, которые будут использованы при создании технологий автоматизации обработки юридических документов. По результатам аналитического обзора существующих типов нормативных правовых документов, способов их анализа и подходов к автоматизации юридической деятельности, а также существующих информационно-аналитических компьютерных систем для правового сопровождения документооборота предлагается следующая практико-ориентированная классификация видов юридических документов на рисунке 1. Данная классификация создана на примере автоматизации правового сопровождения издательской деятельности. Новизна представленной классификации состоит в двух аспектах. Во-первых, сфокусирована предметная область – использована часть юридических документов, направленных на правовое сопровождение деятельности издателя научного журнала с точки зрения законодательства о защите интеллектуальной собственности и персональных данных. Во-вторых, в состав юридических документов (публичные акты) включены: 1) судебные решения и разъяснения правоприменительных органов, так как они могут носить нормативный или квази-нормативный характер, а значит должны учитываться при толковании положений законодательства для целей сниже-

ния правовых рисков; 2) локальные нормативные акты, под которыми в том числе понимаются учредительные документы организации, так как в них устанавливаются такие характеристики как цель деятельности организации, порядок совершения или одобрения сделок, наименование некоммерческой организации и так далее, а значит частные акты, заключаемые издателем должны соответствовать положениям, содержащимся в них для целей минимизации правовых рисков.

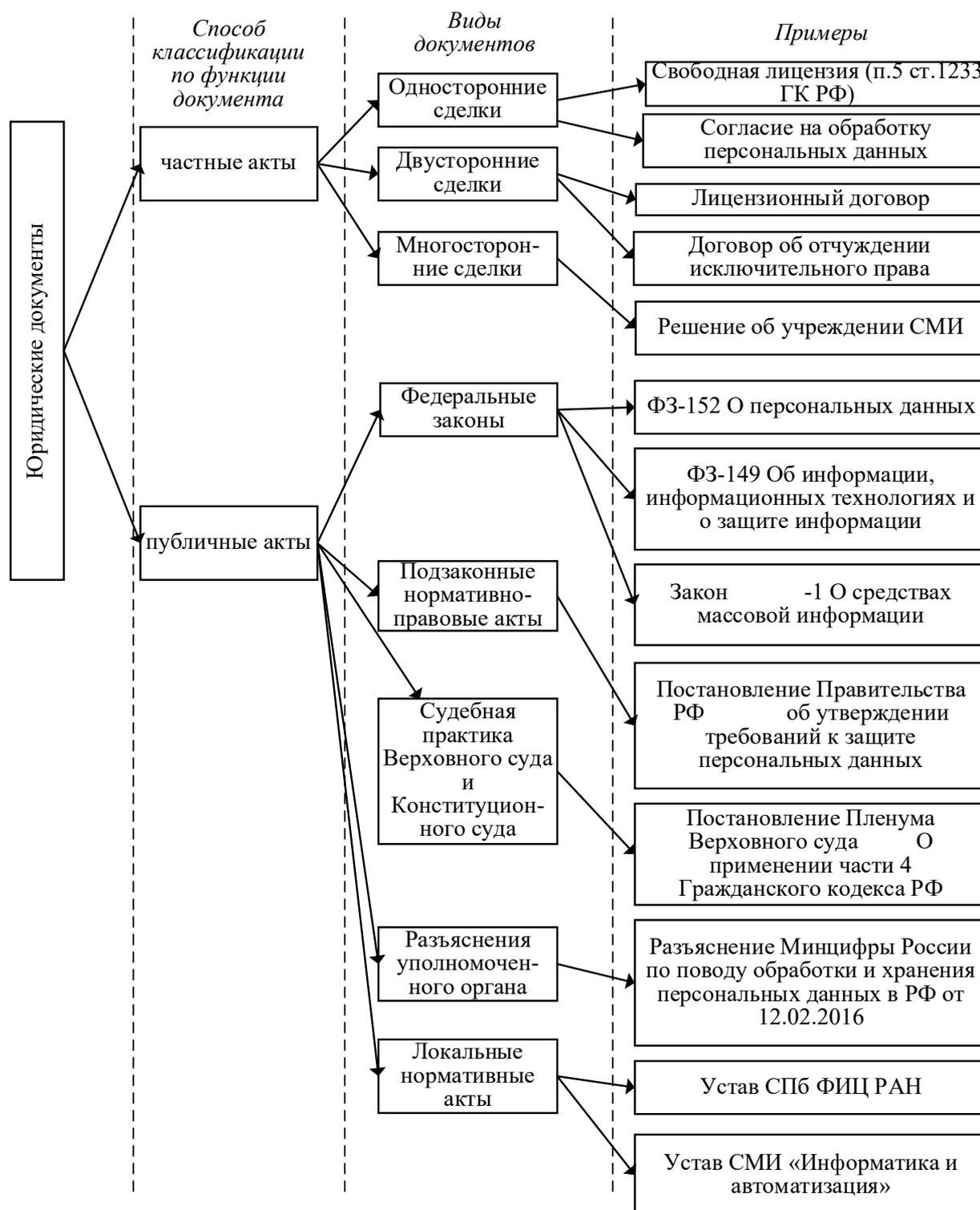


Рис. 1. Классификация юридических документов с примерами из издательской деятельности  
 Fig. 1. Classification of legal documents with examples from publishing activities

В процессе создания классификации была проведена систематизация документов по их функции. Частные акты создаются для установления правовых отношений между сторонами, например, заключение лицензионного договора. Публичными актами устанавливаются предписания, посредством которых создается правопорядок, то есть набор правил, регулирующих права и обязанности субъектов права, в рамках которых они могут распоряжаться своими правами. Для целей минимизации правовых рисков мы акцентируем внимание на аспекте зависимости частных актов от публичных. При создании частных актов субъекты должны соблюдать положения публичных актов, т. е. в них не должно содержаться положений, которые противоречат последним. Публичные акты могут содержать как строго обязательные правила (императивные правила), так и правила, предусматривающие свободу усмотрения сторон (диспозитивные правила), что напрямую оказывает влияние на содержание частных актов. Публичные акты принимают уполномоченные субъекты (гос. органы, суды, организации), обладающие соответствующими полномочиями. Частные акты делятся на односторонние, двусторонние и многосторонние сделки, в зависимости от того, выражения воли скольких лиц необходимо и достаточно для их заключения. Публичные акты делятся на федеральные законы, подзаконные акты, судебную практику, разъяснения уполномоченных органов и локальные нормативные акты в зависимости от субъектов, которые приняли их.

На рисунке 2 проведен анализ наиболее актуальных задач автоматизации правовой деятельности, а также перечень ключевых информационных технологий, которые перспективно привлечь для их решения. Можно выделить три основных вида юридической деятельности: нормотворческая, судебная и договорная.

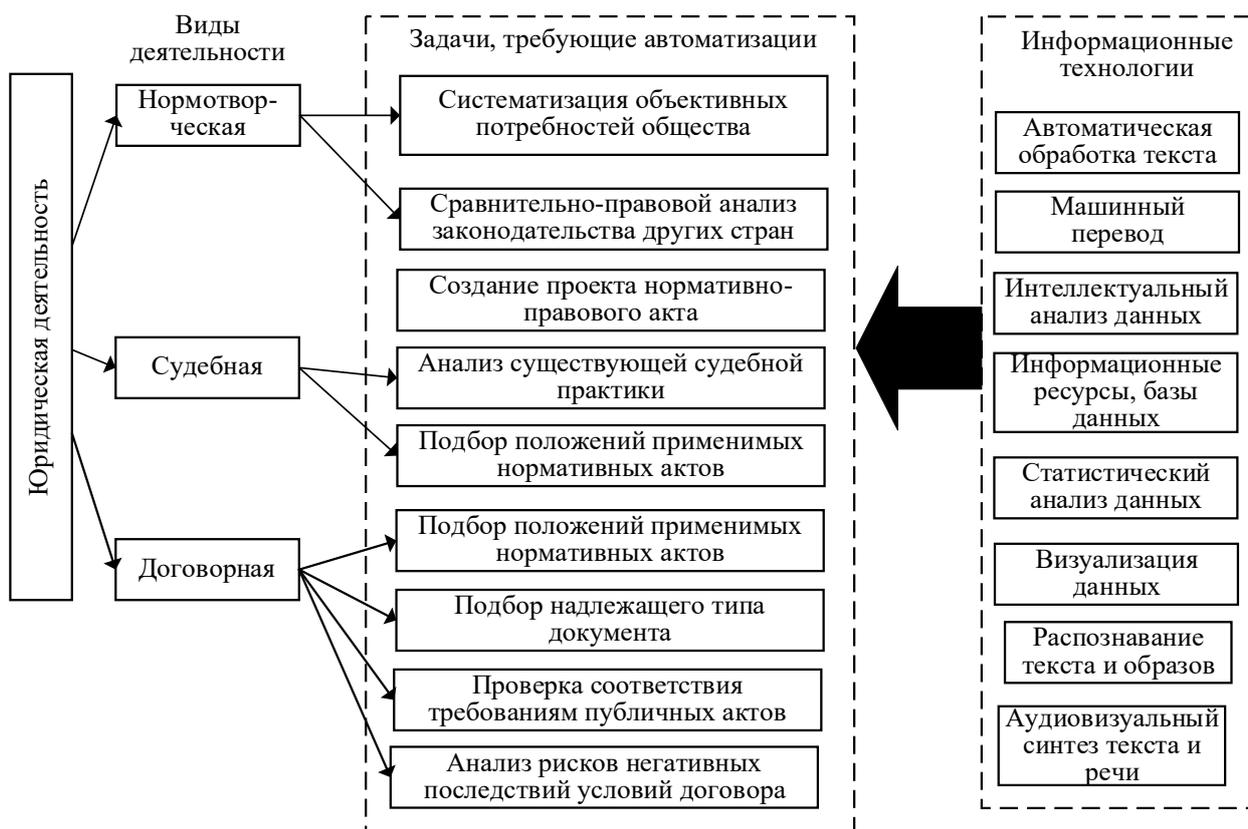


Рис. 2. Классификация задач и способов автоматизации юридической деятельности  
Fig. 2. Classification of tasks and methods of automation of legal activity

Нормотворческая деятельность связана с разработкой и принятием нормативных правовых актов, посредством которых регулируется поведение всех субъектов, принадлежащих к определенному правопорядку. Судебная деятельность связана с вынесением решений по спорам, для чего, в том числе, осуществляются задачи по подбору применимых к конкрет-



ным обстоятельствам правовых норм, которые содержатся в федеральных и подзаконных актах, а также по анализу существующей судебной практики их применения. Договорная деятельность направлена на урегулирование правоотношений между сторонами, разграничению прав и обязанностей, а также поиску баланса интересов сторон. Соответствие частных актов, создаваемых в рамках договорной деятельности, публичным актам снижает риски нарушения законодательства, существенным образом уменьшает необходимость потенциального обращения в суд [Наумов, Бутримович, Котов, 2020]. В рамках данной деятельности присутствует следующий перечень задач, которые подлежат автоматизации: подбор положений применимых нормативных актов, подбор надлежащего типа документа, проверка соответствия требованиям публичных актов, а также анализ рисков негативных последствий исходя из условий договора. Этим задачам будут посвящены будущие работы. Для решения перечисленных задач могут быть использованы следующие информационные технологии: автоматическая обработка текста, машинный перевод, информационные ресурсы, базы данных, интеллектуальный анализ данных, статистический анализ данных, визуализация данных, распознавание текста и образов, аудиовизуальный синтез текста и речи.

### Заключение

Таким образом, повышение степени автоматизации и скорости верификации юридических документов на соответствие действующим нормативным правовым актам с выявлением и визуализацией противоречий является актуальной научной задачей, требующей разработки модельно-алгоритмического и программного обеспечения пакетной обработки текстовых данных.

Проведенный анализ методов и программных средств автоматической обработки текстовых данных, существующих открытых реестров нормативной правовой документации, в том числе по зарубежным и отечественным публикациям показал наличие междисциплинарных задач на стыке юриспруденции и информационных технологий. Привлечение современных методов искусственного интеллекта, машинного обучения, технологий больших данных является необходимым фактором в повышении эффективности при решении задач автоматизации правовой деятельности.

### Список источников

- Computational law MIT URL: <https://law.mit.edu/> (дата обращения 30.03.2022).  
The legal perspective on artificial intelligence: An evolving relationship URL: <https://www.businessgoing.digital/the-legal-perspective-on-artificial-intelligence-an-evolving-relationship/> (дата обращения 20.04.2022).

### Список литературы

- Васильев В.В., Грачева А.В., Родионов А.И., Блеканов И.С. 2019. Графовые методы выявления семантически значимых текстов судебных решений. Процессы управления и устойчивость, 6(1): 234–239.
- Грачева А.В. 2019. От правовой информатики до Legal Tech: история развития в России и за рубежом. ЗАКОН, (5), 56–65.
- Наумов В.Б., Бутримович Я.В., Котов А.А. 2020. Обеспечение качества правового регулирования экспериментальных правовых режимов. Российское право: образование, практика, наука. 3(117). 40–49.
- Трофимов Е.В., Мецкер О.Г. 2020. Использование компьютерных методов и систем в изучении права, интеллектуальном анализе и моделировании правовой деятельности: систематический обзор. Труды ИСП РАН. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kompyuternyh-metodov-i-sistem-v-izuchenii-prava-intellektualnom-analize-i-modelirovanii-pravovoy-deyatelnosti> (дата обращения: 05.05.2022).
- Atik, J., Jeutner, V., Quantum Computing and Computational Law (March 21, 2021). Loyola Law School, Los Angeles Legal Studies Research Paper No. 2019-38, Jeffery Atik & Valentin Jeutner (2021): Quantum computing and computational law, Law, Innovation and Technology, DOI:

- 10.1080/17579961.2021.1977216, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3490930> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3490930>.
- Franken H., 1982. *Systeemtheorie en Rechtswetenschap. Preadvies voor de Vereniging voor Wijsbegeerte en het Recht Nederlands Tijdschrift voor Rechtsfilosofie en Rechtstheorie*.
- Franken H., 1983. "Jurist en computer: theoretische achtergronden", in A.H. de Wild and B. Eilders (eds.), *Jurist en computer* (Deventer: Kluwer).
- Genesereth, M.R. 2021. "What Is Computational Law?", *Complaw Corner, Codex: The Stanford Center for Legal Informatics*.
- Ilková V., Ilka A., 2016. *Legal Cybernetics: An Educational Perspective*, IFAC-PapersOnLine, 49(6):328.
- Jon Bing *Computers and law: some beginnings* P. 15–17  
[https://www.jus.uio.no/ifp/om/organisasjon/seri/forskning/publikasjoner/yulex/Yulex\\_2006.pdf](https://www.jus.uio.no/ifp/om/organisasjon/seri/forskning/publikasjoner/yulex/Yulex_2006.pdf)  
(дата обращения 20.04.2022).
- Kerimov D.A. *Cybernetics and soviet jurisprudence*. URL: <https://scholarship.law.duke.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2948&context=lcp> (дата обращения 15.04.2022).
- Loevinger, Lee, 1799. "Jurimetrics: Science and Prediction in the Field of Law" (1961). *Minnesota Law Review*. P.261. <https://scholarship.law.umn.edu/mlr/1799> (дата обращения 11.04.2022).
- Loevinger, Lee, "Jurimetrics--The Next Step Forward" (1949). *Minnesota Law Review*. 1796. URL: <https://scholarship.law.umn.edu/mlr/1796> (дата обращения 06.04.2022).
- Metsker O., Trofimov E., Grechishcheva S. 2020. *Natural language processing of Russian court decisions for digital indicators mapping for oversight process control efficiency: Disobeying a po-lice officer case*. In *Proc. of the 6th International Conference on Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE'2019)*, pp. 295–307.

## References

- Vasiliev V.V., Gracheva, A.V., Rodionov A.I., Blekanov I.S., 2019. *Graphic methods for determining semantically significant texts of judicial decisions*. *Management Processes and Sustainability*, 6(1):234–239.
- Gracheva A.V. 2019. *From legal informatics to legal tech: history of development in Russia and abroad*. *The law*, (5), 56–65.
- Naumov V.B., Butrimovich Ja.V., Kotov A.A. 2020. *Ensuring the quality of legal regulation of experimental legal regimes*. *Russian law: education, practice, science*. 3(117). 40–49.
- Trofimov E.V., Metsker O.G. 2020. *Application of Computer Techniques and Systems in the Study of Law, Intellectual Analysis and Modeling of Legal Activity: A Systematic Review*. *Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS (Proceedings of ISP RAS)*. 32(3): 147–170. (In Russ.) [https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2020-32\(3\)-13](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2020-32(3)-13).
- Atik J., Jeutner, V., *Quantum Computing and Computational Law* (March 21, 2021). *Loyola Law School, Los Angeles Legal Studies Research Paper No. 2019-38*, Jeffery Atik & Valentin Jeutner (2021): *Quantum computing and computational law, Law, Innovation and Technology*, DOI: 10.1080/17579961.2021.1977216, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3490930> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3490930>.
- Franken H., 1982. *Systeemtheorie en Rechtswetenschap. Preadvies voor de Vereniging voor Wijsbegeerte en het Recht Nederlands Tijdschrift voor Rechtsfilosofie en Rechtstheorie*.
- Franken H., 1983. "Jurist en computer: theoretische achtergronden", in A.H. de Wild and B. Eilders (eds.), *Jurist en computer* (Deventer: Kluwer).
- Genesereth M.R. 2021. "What Is Computational Law?", *Complaw Corner, Codex: The Stanford Center for Legal Informatics*.
- Ilková V., Ilka A., 2016. *Legal Cybernetics: An Educational Perspective*, IFAC-PapersOnLine, 49(6):328.
- Jon Bing *Computers and law: some beginnings* P. 15–17  
[https://www.jus.uio.no/ifp/om/organisasjon/seri/forskning/publikasjoner/yulex/Yulex\\_2006.pdf](https://www.jus.uio.no/ifp/om/organisasjon/seri/forskning/publikasjoner/yulex/Yulex_2006.pdf)  
(дата обращения 20.04.2022).
- Kerimov D.A. *Cybernetics and soviet jurisprudence*. URL: <https://scholarship.law.duke.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2948&context=lcp> (date accessed 15.04.2022).
- Loevinger Lee, "Jurimetrics: Science and Prediction in the Field of Law" (1961). *Minnesota Law Review*. 1799. P.261. <https://scholarship.law.umn.edu/mlr/1799> (date accessed 11.04.2022).



- Loevinger Lee, "Jurimetrics--The Next Step Forward" (1949). *Minnesota Law Review*. 1796. URL: <https://scholarship.law.umn.edu/mlr/1796> (date accessed 06.04.2022).
- Metsker O., Trofimov E., Grechishcheva S. 2020. Natural language processing of Russian court decisions for digital indicators mapping for oversight process control efficiency: Disobeying a po-lice officer case. In *Proc. of the 6th International Conference on Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE'2019)*, pp. 295–307.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Котов Александр Александрович**, аспирант Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН), г. Санкт-Петербург, Россия

**Alexandr A. Kotov**, Postgraduate Student, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS), St. Petersburg, Russia

# ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

## INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 621.391

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-403-415

### Модель передачи видеопотоков в летающей беспроводной самоорганизующейся сети

<sup>1)</sup> Джамил К.Дж.К., <sup>2)</sup> Лихошерстов Р.В., <sup>2)</sup> Польщиков К.А.

<sup>1)</sup> Университет Мустансирия, Ирак, 10001, г. Багдад, ул. Аль-Кадисия

<sup>2)</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: jalalalqaisy1@gmail.com, oaqwater@yandex.ru, polshchikov@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Представлены результаты исследования по разработке математической модели передачи видеопотоков в беспроводных каналах в условиях высокой подвижности узлов. Обоснована актуальность совершенствования моделей и алгоритмов, ориентированных на обеспечение видеосвязи на основе применения летающей беспроводной самоорганизующейся сети. Предложено использовать резервирование канальной производительности в целях повышения загрузки беспроводных каналов. Аргументирована необходимость учета высокой вероятности потерь пакетов в самоорганизующейся сети и специфики условий передачи видеоинформации, снимаемой камерами беспилотных летающих аппаратов. Получены аналитические выражения для вычисления значений битовой скорости передачи данных по беспроводным каналам, рекомендуемых для минимизации отказов в трансляции видеопотоков. Показано, что модель дает возможность вычислить рекомендуемые значения мощности передачи сигналов узлами сети, установка которых на передающих модулях способствует снижению потерь пакетов. Сделан вывод о том, что применение модели позволяет обеспечить требуемое качество видеотрансляции в летающей беспроводной самоорганизующейся сети, используемой для осуществления мониторинга территорий при проведении поисково-спасательных мероприятий.

**Ключевые слова:** летающая беспроводная самоорганизующаяся сеть, модель передачи видеопотоков, обеспечение качества видеотрансляции, потери пакетов, битовая скорость, мониторинг территорий

**Для цитирования:** 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

### Model of Video Streams Transmission in a Flying Ad Hoc Network

<sup>1)</sup> Karwi J. Q. Jameel, <sup>2)</sup> Rodion V. Likhosherstov, <sup>2)</sup> Konstantin A. Polshchikov

<sup>1)</sup> Mustansiriyah University, AL-Qadisiya St, Baghdad, 10001, Iraq

<sup>2)</sup> Belgorod National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: jalalalqaisy1@gmail.com, oaqwater@yandex.ru, polshchikov@bsu.edu.ru

**Abstract.** The results of a study on the development of a mathematical model for the transmission of video streams in wireless channels under conditions of high node mobility are presented. The relevance of improving models and algorithms focused on providing video communication based on the use of a flying wireless self-organizing network is substantiated. It is proposed to use redundancy of channel performance in order to increase the load of wireless channels. The necessity of taking into account the high probability of packet loss in a self-organizing network and the specifics of the conditions for the transmission of video information captured by cameras of unmanned aerial vehicles is argued. Analytical expressions are obtained



for calculating the values of the bit rate of data transmission over wireless channels, recommended for minimizing failures in broadcasting video streams. It is shown that the model makes it possible to calculate the recommended values of signal transmission power by network nodes, the installation of which on the transmitting modules helps to reduce packet losses. It is concluded that the application of the model makes it possible to provide the required quality of video broadcasting in a flying wireless self-organizing network used to monitor territories during search and rescue operations.

**Keywords:** flying ad hoc network, video stream transmission model, video broadcast quality assurance, packet loss, bit rate, territory monitoring

**For citation:** 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

## Введение

Перспективным научно-техническим направлением является обеспечение передачи информации на основе летающих беспроводных самоорганизующихся сетей (Flying Ad hoc NETwork, FANET). Функционирование FANET базируется на применении беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), на которых устанавливаются аппаратно-программные средства узлов сети. Благодаря тому, что каждый узел может выполнять функции приемопередающего ретранслятора и маршрутизатора пакетов, такая децентрализованная сеть позволяет передавать потоки данных в условиях случайной топологии, быстро изменяющейся в трехмерном пространстве. Указанная специфика дает возможность применения FANET для решения широкого круга задач, связанных с воздушным фото- и видеонаблюдением значительных территорий и труднодоступных районов, передачей исследовательской информации о результатах измерений различных параметров (уровня загрязнения воздуха, температуры, влажности и др.), обеспечения связи в условиях чрезвычайных ситуаций и боевых действий, доставки товаров [Kaivonen, Ngai, 2019; Pandey et al., 2019; Khan, Aziz, Cheema, 2020; Rohi, Ofualagba, 2020]. Беспроводные самоорганизующиеся сети на основе БПЛА могут быть использованы для обеспечения геоэкологического мониторинга ресурсов агропромышленного комплекса, обнаружения лесных пожаров, инспектирования воздушных линий электропередач и диагностики состояния электрооборудования электрических сетей [De Rango, Potrino, Tropea, 2019; Polshchikov et al., 2021].

Сети FANET особенно востребованы для обеспечения передачи информации в процессе поисково-спасательных мероприятий, проводимых в условиях отсутствия или поражения традиционной телекоммуникационной аппаратуры. Применение сети БПЛА в таких ситуациях позволяет организовать видеомониторинг протяженных территорий для поиска нуждающихся в спасении людей, пострадавших вследствие деструктивных воздействий природного, техногенного и военного характера. Для этого необходимо обеспечить трансляцию видеопотоков, снимаемых камерами летающих узлов, на диспетчерский центр спасательного подразделения.

Проблемным вопросом применения FANET является снижение качества видеосвязи, обусловленное высокой динамичностью топологии сети по причине скоростного перемещения ее узлов. Частые изменения структуры сети и расстояний между узлами приводят, во-первых, к случайно возникающему дефициту производительности беспроводных каналов вследствие быстрого изменения их загрузки из-за вынужденного активного перераспределения маршрутов передачи видеопотоков, и во-вторых, к увеличению потерь пакетов из-за битовых искажений.

Известны различные методы и алгоритмы, ориентированные на повышение качества связи в беспроводных самоорганизующихся сетях. В целях увеличения производительности беспроводных каналов на физическом уровне получены результаты моделирования распространения радиоволн [Abualhaol, Matalgah, 2006], многоканальной ретрансляции [Abualhaol, Matalgah, 2011], исследованы конструкции антенн [Kung et al., 2010; Ahmed, Kanhere, Jha, 2011]. Представлены технические решения на уровне управления доступом к беспроводным

каналам, разработаны алгоритмы балансировки FANET-каналов с применением аппарата сетей радиально-базисных функций [Samil, Pker, 2015]. Многие работы посвящены анализу эффективности применения процедур маршрутизации в ad-hoc-сетях и разработке алгоритмов сетевого уровня, адаптированных к условиям функционирования FANET [Alshabtat et al., 2010; Khan et al., 2020; Albu-Salih, Khudhair, 2021; Pignaton De Freitas, Kunst, 2021]. Разработаны протоколы транспортного уровня в рамках архитектуры для обмена сообщениями между беспилотными системами JAUS (Joint Architecture for Unmanned Systems) [Vasilyev et al., 2020]. Создана модель передачи потоковых данных в беспроводных сетях с восстановлением потерянных фрагментов средствами прикладного уровня на основе автоматического запроса повторной передачи [Абилов и др., 2020].

Ряд работ посвящен разработке моделей и алгоритмов, направленных на обеспечение эффективной аудиосвязи в беспроводной самоорганизующейся сети [Konstantinov et al., 2017; Polshchykov, Lazarev, Zdorovtsov, 2017; Polshchykov, Lazarev, Kiseleva, 2018; Polshchykov, Shabeeb, Lazarev, 2020]. В них предложено использовать резервирование канальной производительности в целях повышения загрузки беспроводных каналов и улучшения качества передачи голосовых потоков. Эти разработки, как показал анализ, необходимо усовершенствовать в части учета высокой вероятности потерь пакетов в FANET и специфики условий передачи видеоинформации, снимаемой камерами БПЛА. Представленные выше аргументы определяют актуальность выполнения исследований по моделированию процесса передачи видеопотоков в FANET для обеспечения требуемого качества видеотрансляции, используемой для осуществления мониторинга территорий при проведении поисково-спасательных мероприятий.

Цель статьи – обеспечение требуемого качества видеотрансляции, осуществляемой с помощью применения летающей самоорганизующейся сети, на основе разработки модели передачи видеопотоков в беспроводных каналах в условиях высокой подвижности узлов.

### Разработка модели процесса передачи видеопотоков в FANET

Качество передачи потоков видеоинформации по сети может быть обеспечено при условии минимизации значений следующих параметров: задержек пакетов, джиттера, потерь пакетов. Обеспечить приемлемые значения пакетных задержек и джиттера позволяет резервирование производительности каналов для передачи конкретных видеопотоков. При этом из-за возможных перегрузок на отдельных участках ad-hoc-сети часть запросов на передачу видеопотоков может быть буферизована, а каким-то видеопотокам будет отказано в передаче, когда в буфере для очереди запросов не останется свободных мест. Кроме того, возможны случаи низкого качества передачи потоков видеоинформации из-за недопустимого уровня потерь пакетов, приводящего к утрате транслируемых видеофрагментов. Отказы в передаче видеопотоков, а также случаи передачи видеопотоков с низким качеством по каналам FANET снижают результирующее качество видеотрансляции. В исследовании предлагается использовать показатель  $p_c$  – вероятность обеспечения требуемого качества передачи видеопотоков по каналу FANET.

Пусть в течение заданного интервала времени  $T$  поступило  $\alpha$  запросов на передачу видеопотоков по каналу FANET. Тогда будем считать, что требуемое качество передачи видеопотоков по каналу обеспечено, если сумма числа отказов в передаче видеопотоков и числа переданных с низким качеством видеопотоков не превышает  $\beta$ . Добиться обеспечения требуемого качества передачи видеопотоков можно в тех случаях, если в канале битовая скорость будет иметь значения, позволяющие минимизировать отказы в передаче видеопотоков, а мощность передачи сигналов будет настолько высокой, что потери пакетов станут незначительными и существенно не снизят качество передачи видеопотоков. При этом следует учитывать нецелесообразность чрезмерного повышения мощности передающих модулей ввиду необходимости экономии энергетических ресурсов узлов FANET, оснащенных автономными аккумуляторными батареями электропитания.

Для получения зависимости вероятности обеспечения требуемого качества видеотрансляции от значений канальной битовой скорости необходимо разработать соответствующую математическую модель.

Процесс передачи видеопотоков по каналу FANET при  $\alpha = 4$  и  $\beta = 1$  представлен в виде вероятностного графа на рисунке 1.

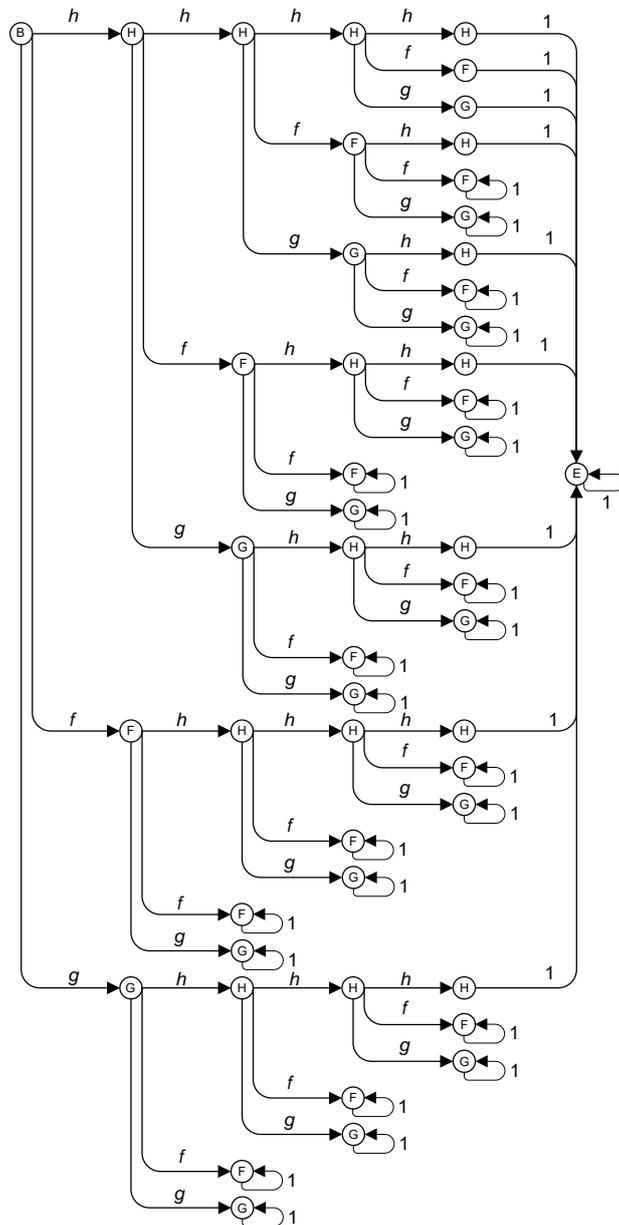


Рис. 1. Вероятностный граф процесса передачи видеопотоков по каналу FANET  
 Fig. 1. Probabilistic graph of the process of transmitting video streams over the FANET channel

Моделируемый процесс описывается набором состояний, которым соответствуют следующие вершины графа: «В» – начало процесса видеотрансляции по каналу; «Н» – видеопоток передан с высоким качеством по каналу; «F» – отказ в передаче видеопотока по каналу; «G» – видеопоток передан с низким качеством по каналу; «E» – обеспечено требуемое качество видеотрансляции по каналу. Переход в любую вершину «Н» осуществляется с вероятностью  $h$ . Величина  $h$  является вероятностью передачи по каналу видеопотока с высоким качеством. Переход в любую вершину «F» происходит, если получен отказ в передаче видеопотока по причине отсутствия свободных мест в канальном буфере для очереди запро-

сов. Вероятность такого перехода равна  $f$ . Величина  $f$  именуется вероятностью отказа в передаче видеопотока по каналу. Переход в любую вершину «G» моделирует случай передачи видеопотока с низким качеством, возникающий по причине недопустимо высоких потерь пакетов. Данный переход характеризуется величиной  $g$  – вероятностью передачи по каналу видеопотока с низким качеством. Наконец, вершина «T» является терминальной для тех путей графа, в которых сумма вершин «F» и «G» не превышает  $\beta$ . Перебор возможных путей графа, соединяющих вершину «B» с вершиной «T», позволил получить выражение для вычисления вероятности обеспечения требуемого качества видеотрансляции по каналу:

$$p_c = h^4 + 4h^3 f + 4h^3 g. \quad (1)$$

Аналогично получены выражения для вычисления величины  $p_c$  при других различных значениях величин  $\alpha$  и  $\beta$ . Эти выражения представлены в таблице 1.

Таблица 1  
 Table 1

Выражения для вычисления показателя  $p_c$   
 Expressions for calculating the indicator  $p_c$

Значения $\alpha$	Значения $\beta$	Значения $p_c$
1	0	$h$
1	1	$h + f + g$
2	0	$h^2$
2	1	$h + 2h(f + g)$
2	2	$h^2 + 2h(f + g) + (f + g)^2$
3	0	$h^3$
3	1	$h^3 + 3h^2(f + g)$
3	2	$h^3 + 3h^2(f + g) + 3h(f + g)^2$
3	3	$h^3 + 3h^2(f + g) + 3h(f + g)^2 + (f + g)^3$
4	0	$h^4$
4	1	$h^4 + 4h^3(f + g)$
4	2	$h^4 + 4h^3(f + g) + 6h^2(f + g)^2$
4	3	$h^4 + 4h^3(f + g) + 6h^2(f + g)^2 + 4h(f + g)^3$
5	0	$h^5$
5	1	$h^5 + 5h^4(f + g)$
5	2	$h^5 + 5h^4(f + g) + 10h^3(f + g)^2$
5	3	$h^5 + 5h^4(f + g) + 10h^3(f + g)^2 + 10h^2(f + g)^3$
6	0	$h^6$
6	1	$h^6 + 6h^5(f + g)$
6	2	$h^6 + 6h^5(f + g) + 15h^4(f + g)^2$
6	3	$h^6 + 6h^5(f + g) + 15h^4(f + g)^2 + 20h^3(f + g)^3$



На основе анализа выражений, представленных в таблице 1, получена формула для вычисления величины  $p_c$  в следующем виде:

$$p_c = \sum_{x=0}^{\beta} k_{\alpha,x} h^{\alpha-x} (f + g)^x. \quad (2)$$

Значения коэффициентов  $k_{\alpha,x}$  в систематизированном виде представлены в таблице 2.

Таблица 2  
Table 2

Значения коэффициентов  $k_{\alpha,x}$   
The values of the coefficients  $k_{\alpha,x}$

$\alpha$	$x$			
	0	1	2	3
1	1	1	-	-
2	1	2	1	-
3	1	3	3	1
4	1	4	6	4
5	1	5	10	10
6	1	6	15	20

Анализ содержимого таблицы 2 показывает, что она представляет собой фрагмент таблицы биномиальных коэффициентов. Этот факт позволяет получить следующее равенство:

$$k_{\alpha,x} = C_{\alpha}^x = \frac{\alpha!}{x!(\alpha-x)!}. \quad (3)$$

С учетом выражения (3) формулу для вычисления вероятности обеспечения требуемого качества передачи видеопотоков по каналу можно записать в следующем виде:

$$p_c = \sum_{x=0}^{\beta} \frac{\alpha!}{x!(\alpha-x)!} h^{\alpha-x} (f + g)^x. \quad (4)$$

Логично утверждать, что требуемое качество видеотрансляции по сети будет обеспечено, если будет обеспечено требуемое качество передачи видеопотоков по каждому каналу сети. Тогда вероятность обеспечения требуемого качества видеотрансляции по сети может быть вычислена по формуле:

$$p_N = \left[ \sum_{x=0}^{\beta} \frac{\alpha!}{x!(\alpha-x)!} h^{\alpha-x} (f + g)^x \right]^K, \quad (5)$$

где  $K$  – среднее число каналов, используемых для передачи по сети одного видеопотока.

Величину  $f$  можно вычислить как вероятность отказа в обслуживании запроса в многоканальной системе с ограниченной длиной очереди [Vocharov et al., 2004]:

$$f = \frac{\frac{(\lambda\tau)^n}{n!} \left(\frac{\lambda\tau}{n}\right)^m}{\frac{(\lambda\tau)^n}{n!} \sum_{u=1}^m \left(\frac{\lambda\tau}{n}\right)^u + \sum_{x=0}^n \frac{(\lambda\tau)^x}{x!}}, \quad (6)$$

где  $n$  – число видеопотоков, которые можно одновременно передавать с высоким качеством по каналу;  $m$  – объем буфера для очереди запросов на передачу видеопотоков по каналу;  $\lambda$  – интенсивность поступления запросов на передачу видеопотоков по каналу;  $\tau$  – средняя длительность передачи видеопотока по каналу. Выражение (6) справедливо при выполнении условия  $n > \lambda\tau$ .

Значение числа видеопотоков, которое можно одновременно передавать с высоким качеством по каналу, вычисляется с помощью выражения:

$$n = \frac{R}{r}, \quad (7)$$

где  $R$  – битовая скорость передачи данных по каналу, бит/с;  $r$  – производительность канала, используемая для передачи с высоким качеством одного видеопотока, бит/с.

Для вычисления вероятности передачи по каналу видеопотока с низким качеством можно использовать следующее выражение [Polshchikov et al., 2019]:

$$g = 1 - \left[ (1-v)^\omega + \sum_{a=1}^b y_{\omega,a} (1-v)^{\omega-a} v^a \right], \quad (8)$$

где  $\omega$  – число пакетов в передаваемом по каналу видеопотоке;  $v$  – вероятность потери пакета в процессе передачи по каналу;  $b$  – наибольшее число потерянных пакетов, при котором возможна передача видеопотока с высоким качеством.

Величину  $b$  можно вычислить по формуле:

$$b = \left\lceil \frac{\omega - 2\gamma}{\gamma + 1} \right\rceil. \quad (9)$$

Коэффициенты  $y_{\omega,a}$  могут быть вычислены при  $\omega > 2\gamma$  по формуле:

$$y_{\omega,a} = \begin{cases} \omega - 2\gamma, & a = 1; \\ 0, & a > 1 \text{ и } \omega \leq 3\gamma + 1; \\ \sum_{i=2\gamma+1}^{\omega-a-1} y_{i,a-1}, & a > 1 \text{ и } \omega > 3\gamma + 1. \end{cases} \quad (10)$$

Выражения (8)–(10) учитывают возможность восстановления потерянных пакетов на приемном узле с помощью выполнения процедур аппроксимации. При этом, чтобы на приемном узле восстановить потерю пакета, нужно получить не менее  $\gamma$  предыдущих и не менее  $\gamma$  последующих пакетов.

Вероятность потери пакета в процессе передачи по каналу можно вычислить с помощью выражения [Prabhu, Daneshrad, 2010; Кайсина и др., 2019]:

$$v = 1 - (1 - BER)^S, \quad (11)$$

где  $BER$  – вероятность искажения символа при передаче по каналу;  $S$  – число бит в одном пакете.

Вероятность искажения символа при передаче по каналу можно вычислить с использованием Q-функции по формуле [Istikmal, Kurniawan, Hendrawan, 2017]:

$$BER = Q\left(\sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}}\right), \quad (12)$$

где  $E_b$  – энергия сигнала, приходящаяся на 1 бит принимаемого сообщения;  $N_0$  – энергетическая спектральная плотность шума.

Отношение  $\frac{E_b}{N_0}$  можно найти с помощью выражения [Кайсина и др., 2019]:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{SNR \cdot W}{R}, \quad (13)$$

где  $SNR$  – отношение сигнал/шум в канале;  $W$  – ширина полосы пропускания канала, Гц.



Для вычисления отношения сигнал/шум можно воспользоваться формулой [Istikmal, Kurniawan, Hendrawan, 2017]:

$$SNR = \frac{P_R}{k \cdot T_R \cdot W \cdot N_F}, \quad (14)$$

где  $P_R$  – мощность принимаемого сигнала, Вт;  $k = 1,38 \times 10^{-23}$  – постоянная Больцмана, Вт·с·К<sup>-1</sup>;  $T_R$  – температура, К;  $N_F$  – коэффициент шума.

Значение мощности принимаемого сигнала в дБм вычисляется с помощью выражения [Shaw, 2013; Frid, Holter, Jonsson, 2015]:

$$P_R = P_T + 10 \lg \left( \left( \frac{c}{v} \right)^2 / (4\pi d)^2 L_S \right), \quad (15)$$

где  $P_T$  – мощность передачи сигнала, дБм;  $c = 3 \times 10^8$  – скорость распространения сигнала, м/с;  $v$  – частота сигнала, Гц;  $d$  – среднее расстояние между передающими и приемными узлами, м;  $L_S$  – системные потери.

Величину  $h$  можно вычислить по условию нормировки полной вероятности:

$$h = 1 - (f + g). \quad (16)$$

### Проведение вычислительных экспериментов

С использованием выражений (5)–(16), полученных в процессе разработки модели, проведена серия вычислительных экспериментов. Исходные данные для вычислений представлены в таблице 3.

Таблица 3  
Table 3

Исходные данные  
Initial data

№ п/п	Величина	Значение	Единица измерения
1.	$T_R$	290	К
2.	$N_F$	5	-
3.	$W$	40	МГц
4.	$L_S$	1,08	-
5.	$v$	5,18	ГГц
6.	$S$	$10^4$	-
7.	$\omega$	$18 \times 10^4$	-
8.	$\gamma$	8	-
9.	$K$	6	-
10.	$\lambda$	10	час <sup>-1</sup>
11.	$\tau$	0,5	час
12.	$\alpha$	10	-
13.	$\beta$	2	-
14.	$T$	1	час
15.	$r$	1	Мбит/с

Представленные в таблице 4 результаты выполненных вычислений показывают, что при фиксированной мощности передачи сигнала  $P_T = 15$  дБм и среднем расстоянии  $d = 480$  м

между передающими и приемными узлами вероятность обеспечения требуемого качества FANET-видеотрансляции превышает уровень 0,95, если битовая скорость передачи данных равна 8 Мбит/с. Увеличение среднего расстояния  $d$  даже на незначительную величину (10–20 м) приводит к тому, что при этой же мощности  $P_T$  не удастся подобрать значения  $R$ , позволяющие добиться уровня  $p_N$  не ниже 0,95.

Таблица 4  
Table 4

Значения показателя  $p_N$ , вычисленные при  $P_T = 15$  дБм  
Values  $p_N$  calculated at  $P_T = 15$  dBm

$d$ , м	$R$ , Мбит/с					
	4	5	6	7	8	9
480	0,004	0,155	0,624	0,919	0,982	0,012
490	0,004	0,155	0,624	0,919	0,930	$1,253 \times 10^{-12}$
500	0,004	0,155	0,624	0,917	0,521	$9,850 \times 10^{-44}$

Для повышения вероятности обеспечения требуемого качества видеотрансляции до уровня  $p_N = 0,95$  имеется возможность увеличить мощность передачи сигнала. Проведены вычислительные эксперименты по исследованию зависимости величины  $p_N$  от значений  $P_T$  для различных вариантов среднего расстояния между передающими и приемными узлами. Результаты вычислений в виде графиков зависимости  $p_N(P_T)$  при  $R = 8$  Мбит/с показаны на рисунке 2. Анализ представленных результатов показывает, что для различных значений  $d$  можно выбрать такие значения мощности передачи сигнала, при которых вероятности обеспечения требуемого качества видеотрансляции достигают уровня 0,95. Так, например, если среднее расстояние между передающими и приемными узлами в FANET составляет 500 м, то при битовой скорости передачи 8 Мбит/с для достижения значения вероятности  $p_N = 0,95$  необходимо мощность  $P_T$  установить на уровне 15,2 дБм.

При этом важно отметить, что при  $P_T = 15,2$  дБм вычисления по формуле Шеннона

$$R = W \log_2(1 + SNR) \quad (17)$$

показывают теоретическую возможность обеспечить битовую скорость передачи данных 83,56 Мбит/с, что более чем в 10 раз превышает значение  $R$ , достаточное для получения  $p_N = 0,95$ .

В результате исследования удалось вычислить значения мощности  $P_T$ , которые рекомендуется установить на выходе передающих модулей узлов FANET для получения вероятности обеспечения требуемого качества видеотрансляции равной 0,95 в зависимости от среднего расстояния между передающими и приемными узлами (см. таблицу 5).

### Заключение

Таким образом, в статье представлены результаты исследования по разработке математической модели передачи видеопотоков в беспроводных каналах в условиях высокой подвижности узлов. Применение модели позволяет обеспечить требуемое качество видеотрансляции в летающей беспроводной самоорганизующейся сети, используемой для осуществления мониторинга территорий при проведении поисково-спасательных мероприятий.

Проведенный анализ показал, что качество FANET-видеотрансляции снижают, во-первых, отказы в передаче видеопотоков, возникающие вследствие дефицита канальной производительности, и во-вторых, случаи низкого качества передачи видеопотоков,

обусловленного недопустимо большими потерями пакетов, приводящими к утрате транслируемых видеофрагментов.

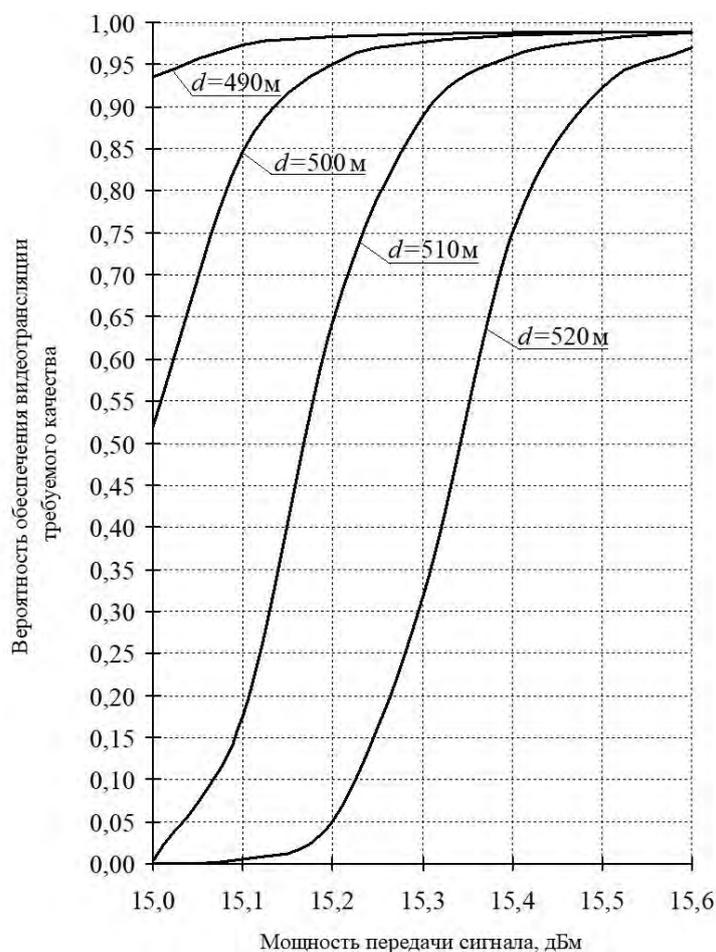


Рис. 2. Графики зависимости  $p_N(P_T)$  при  $R = 8$  Мбит/с

Fig. 2. Graphs of dependence  $p_N(P_T)$  at  $R = 8$  Mbps

Таблица 5  
Table 5

Рекомендуемые значения  $P_T$ , при которых достигается  $p_N = 0,95$

Recommended  $P_T$  values, at which  $p_N = 0,95$

$d$ , м	$P_T$ , дБм
500	15,20
550	16,03
600	16,79
650	17,48
700	18,13
750	18,73
800	19,29

Разработанная модель дает возможность вычислить значения битовой скорости передачи данных по каналам FANET, рекомендуемые для минимизации отказов в трансляции видеопотоков. Кроме того, модель позволяет вычислить рекомендуемые

значения мощности передачи сигналов узлами сети, установка которых на передающих модулях способствует снижению потерь пакетов и, в конечном итоге, обеспечению на требуемом уровне качества видеотрансляции по сети.

Предметом дальнейшей работы в рамках темы исследования станет создание алгоритмического и программного обеспечения для применения модели, предложенной в статье.

### Список литературы

- Абилов А.В., Чунаев А.В., Нистюк А.И., Кайсина И.А. 2020. Модель передачи данных с восстановлением потерянных фрагментов на основе ARQ прикладного уровня. Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 3(4): 85–94.
- Кайсина И.А., Васильев Д.С., Абилов А.В., Мейтис Д.С., Кайсин А.Е., Нистюк А.И. 2019. Сравнительный анализ эффективности ретрансляции потоковых данных в летающей сети. Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 22(1): 108–115.
- Abualhaol I.Y., Matalgah M.M. 2006. Outage probability analysis in a cooperative UAVs network over nakagami-m fading channels. IEEE Conference on Vehicular Technology, 1–4.
- Abualhaol I.Y., Matalgah M.M. 2011. Performance analysis of cooperative multi-carrier relay-based UAV networks over generalized fading channels. International Journal of Communication Systems, 24(8): 1049–1064.
- Ahmed N., Kanhere S., Jha S. 2011. Link characterization for aerial wireless sensor networks. Globecom Wi-UAV Workshop, 1274–1279.
- Albu-Salih A.T., Khudhair H.A. 2021. ASR-FANET: An adaptive SDN-based routing framework for FANET. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 11(5): 4403–4412.
- Alshabtat A.I., Dong L., Li J., Yang F. 2010. Low latency routing algorithm for unmanned aerial vehicles ad-hoc networks. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 6(1): 48–54.
- Bocharov P.P., D'Apice C., Pechinkin A.V., Salerno S. 2004. Queueing Theory. Utrecht – Boston, VSP, 445 p.
- Da Costa L.A., Pignaton De Freitas E., Kunst R. 2021. Q-FANET: Improved Q-learning based routing protocol for FANETs. Computer Networks, 198: 108379.
- De Rango F., Potrino G., Tropea M. 2019. Scalable and lighthway bio-inspired coordination protocol for FANET in precision agriculture applications. Computers & Electrical Engineering, 74: 305–318.
- Frid H., Holter H., Jonsson B.L.G. 2015. An Approximate Method for Calculating the Near-Field Mutual Coupling Between Line-of-Sight Antennas on Vehicles. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 63 (9): 4132–4138.
- Istikmal, Kurniawan A., Hendrawan. 2017. Selective Route Based on SNR with Cross-Layer Scheme in Wireless Ad Hoc Network. Journal of Computer Networks and Communications, 2017.
- Khan I. U., Aziz M. A., Cheema T. A. 2020. Smart IoT control-based nature inspired energy efficient routing protocol for Flying Ad Hoc Network (FANET). IEEE Access, 8: 56371–56378.
- Konstantinov I., Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O. 2017. Mathematical Model of Message Delivery in a Mobile Ad Hoc Network. Proceedings of the 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT): 10–13.
- Kung H.T., Lin C.-K., Lin T.-H., Tarsa S.J., Vlah D. 2010. Measuring diversity on a low-altitude UAV in a ground-to-air wireless 802.11 mesh network. IEEE Globecom Workshops, 1799–1804.
- Pandey A., Shukla P.K., Agrawal R., Khare A. 2019. Grasshopper optimization based clustering algorithm (GOCA) for adaptive flying ad-hoc network (FANET) to enhance the quality of service (QoS). International Journal of Scientific and Technology Research, 8(11): 3731–3736.
- 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., Kiselev V.E., Kiseleva E.D. 2019. Model of real-time flow packet transmission in amobile ad hoc network. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 11(8): 2861–2864.
- 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 geocological monitoring of resources of the agroindustrial complex. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(3): 781–787.
- Prabhu R.S., Daneshrad B. 2010. An energy-efficient water-filling algorithm for OFDM systems. *Communications (ICC)*. 2010 IEEE International Conference: 1–5.
- Rohi G., Ofualagba G. 2020. Autonomous monitoring, analysis, and countering of air pollution using environmental drones. *Heliyon*, 6(1): 1–10.
- Samil T., Ilker B. 2015. LODMAC: Location Oriented Directional MAC protocol for FANETs. *Computer Networks*, 83(4): 76–84.
- Shaw J.A. 2013. Radiometry and the Friis transmission equation. *American Journal of Physics*, 81(1): 33–37.

## References

- Abilov A.V., Chunaev A.V., Nistyuk A.I., Kaisina I.A. 2020. Data Transmission Model with Lost Fragments Recovery Based on Application Layer ARQ. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 23(4): 85–94 (in Russian).
- Abualhaol I.Y., Matalgah M.M. 2006. Outage probability analysis in a cooperative UAVs network over nakagami-m fading channels. *IEEE Conference on Vehicular Technology*, 1–4.
- Abualhaol I.Y., Matalgah M.M. 2011. Performance analysis of cooperative multi-carrier relay-based UAV networks over generalized fading channels. *International Journal of Communication Systems*, 24(8): 1049–1064.
- Ahmed N., Kanhere S., Jha S. 2011. Link characterization for aerial wireless sensor networks. *Globecom Wi-UAV Workshop*, 1274–1279.
- Albu-Salih A.T., Khudhair H.A. 2021. ASR-FANET: An adaptive SDN-based routing framework for FANET. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 11(5): 4403–4412.
- Alshabtat A.I., Dong L., Li J., Yang F. 2010. Low latency routing algorithm for unmanned aerial vehicles ad-hoc networks. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6(1): 48–54.
- Bocharov P.P., D'Apice C., Pechinkin A.V., Salerno S. 2004. *Queueing Theory*. Utrecht–Boston, VSP, 445 p.
- Da Costa L.A., Pignaton De Freitas E., Kunst R. 2021. Q-FANET: Improved Q-learning based routing protocol for FANETs. *Computer Networks*, 198: 108379.
- De Rango F., Potrino G., Tropea M. 2019. Scalable and lighthway bio-inspired coordination protocol for FANET in precision agriculture applications. *Computers & Electrical Engineering*, 74: 305–318.
- Frid H., Holter H., Jonsson B.L.G. 2015. An Approximate Method for Calculating the Near-Field Mutual Coupling Between Line-of-Sight Antennas on Vehicles. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 63 (9): 4132–4138.
- Istikmal, Kurniawan A., Hendrawan. 2017. Selective Route Based on SNR with Cross-Layer Scheme in Wireless Ad Hoc Network. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2017.
- Kaisina I.A., Vasil'ev D.S., Abilov A.V., Meitis D.S., Kaisin A.E., Nistyuk A.I. 2019. Comparative analysis of the effectiveness of streaming data retransmission in a flying network. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 22(1): 108–115 (in Russian).
- Khan I. U., Aziz M. A., Cheema T. A. 2020. Smart IoT control-based nature inspired energy efficient routing protocol for Flying Ad Hoc Network (FANET). *IEEE Access*, 8: 56371–56378.
- Konstantinov I., Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O. 2017. Mathematical Model of Message Delivery in a Mobile Ad Hoc Network. *Proceedings of the 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*: 10–13.
- Kung H.T., Lin C.-K., Lin T.-H., Tarsa S.J., Vlah D. 2010. Measuring diversity on a low-altitude UAV in a ground-to-air wireless 802.11 mesh network. *IEEE Globecom Workshops*, 1799–1804.
- Pandey A., Shukla P.K., Agrawal R., Khare A. 2019. Grasshopper optimization based clustering algorithm (GOCA) for adaptive flying ad-hoc network (FANET) to enhance the quality of service (QoS). *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(11): 3731–3736.
- 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., Kiselev V.E., Kiseleva E.D. 2019. Model of real-time flow packet transmission in amobile ad hoc network. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 11(8): 2861–2864.
- 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 geocological monitoring of resources of the agroindustrial complex. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(3): 781–787.
- Prabhu R.S., Daneshrad B. 2010. An energy-efficient water-filling algorithm for OFDM systems. *Communications (ICC)*. 2010 IEEE International Conference: 1–5.
- Rohi G., Ofualagba G. 2020. Autonomous monitoring, analysis, and countering of air pollution using environmental drones. *Heliyon*, 6(1): 1–10.
- Samil T., Ilker B. 2015. LODMAC: Location Oriented Directional MAC protocol for FANETs. *Computer Networks*, 83(4): 76–84.
- Shaw J.A. 2013. Radiometry and the Friis transmission equation. *American Journal of Physics*, 81(1): 33–37.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Джамил Карви Джалал Каис**, магистр наук, преподаватель Университета Мустансирия, г. Багдад, Ирак

**Karwi J. Q. Jameel**, MSc, Assistant lecturer of the Mustansiriyah University, Baghdad, Iraq

**Лихошерстов Родион Валерьевич**, соискатель кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Rodion V. Likhosherstov**, Degree of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod State University, Belgorod, Russia

**Польщиков Константин Александрович**, доктор технических наук, доцент, директор института инженерных и цифровых технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Konstantin A. Polshchikov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Engineering and Digital Technologies of the Belgorod State University, Belgorod, Russia



УДК 519.6  
DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-416-431

## Синтез аналоговых фильтров Гильберта и исследование их характеристик

**Волчков В.П., Антипова А.Н.**

Московский технический университет связи и информатики,  
Россия, 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8а  
E-mail: volchkovvalery@mail.ru, ann.ant2017@yandex.ru

**Аннотация.** Разрабатывается метод синтеза аналоговых фильтров Гильберта с бесконечной и конечной импульсными характеристиками, которые позволяют обеспечить в заданном диапазоне частот практически идеальный поворот фазы на 90 градусов, равномерное усиление входного сигнала и устойчивость фильтров. Приводится вывод аналитических выражений для импульсных и частотных характеристик таких фильтров, исследуются их свойства, строятся соответствующие графики. На основе полученных выражений проведен поэтапный синтез аналогового фильтра Гильберта с конечной импульсной характеристикой (КИХ) и его моделирование. Экспериментально исследуются особенности и причины возникновения эффекта Гиббса в частотных характеристиках такого КИХ-фильтра. Предлагаются и анализируются эффективные методы борьбы с переходным процессом Гиббса в частотной области и показано, что при специальном выборе весового сглаживания можно получить КИХ-фильтр Гильберта с практически идеальными характеристиками фазовращателя в заданной рабочей полосе частот. Оценивается качество работы КИХ-фильтров Гильберта по разным критериям. Приводятся аналитические выражения для импульсной и частотных характеристик физически реализуемого фильтра Гильберта.

**Ключевые слова:** синтез аналоговых фильтров, фильтр Гильберта, физически реализуемый фильтр Гильберта, идеальный фазовращатель

**Для цитирования:** Волчков В.П., Антипова А.Н. 2022. Синтез аналоговых фильтров Гильберта и исследование их характеристик. Экономика. Информатика, 49(2): 416–431. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-416-431

---

## Synthesis of Analog Hilbert Filters and Research of Their Characteristics

**Valery P. Volchkov, Anna N. Antipova**

Moscow Technical University of Communications and Informatics,  
8a Aviamotornaya St, 111024, Moscow, Russia  
E-mail: volchkovvalery@mail.ru, ann.ant2017@yandex.ru

**Abstract.** A method is being developed for synthesizing analog Hilbert filters with infinite and finite impulse responses, which make it possible to provide, in a given frequency range, an almost perfect phase rotation by 90 degrees, uniform input signal amplification, and filter stability. The derivation of analytical expressions for the impulse and frequency characteristics of such filters is given, their properties are investigated, and the corresponding graphs are constructed. On the basis of the obtained expressions, a stage-by-stage synthesis of an analog Hilbert filter with a finite impulse response (FIR) and its modeling were carried out. The features and causes of the Gibbs effect in the frequency characteristics of such a FIR filter are experimentally investigated. We propose and analyze effective methods for dealing with the Gibbs transient in the frequency domain and show that with a special choice of weight smoothing, it is possible to obtain a Hilbert FIR filter with almost ideal phase shifter characteristics in a given operating frequency band. The quality of the FIR Hilbert filters is evaluated according to various criteria. Analytical expressions are given for the impulse and frequency responses of a physically realizable Hilbert filter.

**Keywords:** synthesis of analog filters, Hilbert filter, physically realizable Hilbert filter, ideal phase shifter

**For citation:** Volchkov V.P., Antipova A.N. 2022. Synthesis of Analog Hilbert Filters and Research of Their Characteristics. Economics. Information technologies, 49(2): 416–431 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-416-431

### Описание проблемы и ее актуальность

Фильтр Гильберта представляет собой идеальный фазовращатель, который реализует поворот фазы сигнала на  $\pi/2$  (90 градусов), что имеет важное значение в различных технических приложениях при формировании и обработке сигналов, например, в системах связи, радиолокации и др. Идеальный аналоговый фильтр Гильберта (ИФГ) математически описывается интегральным преобразованием Гильберта:

$$\Gamma(\cdot) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(\cdot)}{t-\tau} d\tau = (\cdot) * g_{\Gamma}(t), \quad t \in \mathbb{R}$$
$$g_{\Gamma}(t) = \frac{1}{\pi t}, \quad t \in \mathbb{R}, \quad (1)$$

где  $g_{\Gamma}(t)$  – импульсная характеристика (ИХ) фильтра Гильберта, а символ звездочка \* – операция свертки. Ниже приводятся известные выражения для комплексной частотной характеристики (КЧХ), амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и фазо-частотной характеристики (ФЧХ) идеального фильтра Гильберта [Айфичер, Джервис, 2008; Смит, 2012; Сергиенко, 2011]:

$$\text{КЧХ: } K_{\Gamma}(jf) = \mathcal{F}(g_{\Gamma}(t)) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\pi t} e^{-j2\pi ft} dt = \begin{cases} j, & f < 0 \\ 0, & f = 0 \\ -j, & f > 0 \end{cases} = -j \cdot \text{sign}(f), \quad f \in \mathbb{R}, \quad (2)$$

$$\text{АЧХ: } K_{\Gamma}(f) = |K_{\Gamma}(jf)| = \begin{cases} 1, & f < 0 \\ 0, & f = 0 \\ 1, & f > 0 \end{cases} = |\text{sign}(f)|, \quad f \in \mathbb{R}, \quad (3)$$

$$\text{ФЧХ: } \Phi_{\Gamma}(f) = \arg(K_{\Gamma}(jf)) = \begin{cases} \pi/2, & f < 0 \\ 0, & f = 0 \\ -\pi/2, & f > 0 \end{cases} = -\frac{\pi}{2} \text{sign}(f), \quad f \in \mathbb{R}. \quad (4)$$

Приведем графики АЧХ и ФЧХ:

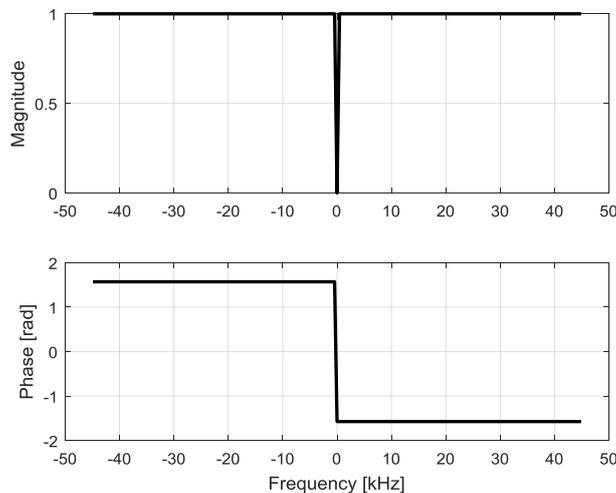


Рис. 1. АЧХ (вверху) и ФЧХ (внизу) идеального фильтра Гильберта  
Fig. 1. Amplitude-frequency (top) and Phase-frequency (bottom) characteristics of an ideal Hilbert filter



Как видно из рис. 1, АЧХ  $K_{\Gamma}(f)$  во всех точках, кроме нулевой частоты, равна единице, т. е. идеальный фильтр Гильберта не меняет амплитудные соотношения в спектре сигнала на всей оси частот. В то же время, согласно ФЧХ  $\Phi_{\Gamma}(f)$  на том же рисунке, спектральные составляющие сигнала в области положительных частот поворачиваются на  $-\pi/2$ , а в отрицательной области частот – на  $\pi/2$ .

Анализ выражений (2)–(4) и соответствующие графики показывают, что идеальный фильтр Гильберта не может быть реализован на практике по следующим причинам:

- импульсная характеристика  $g_{\Gamma}(t) = 1/\pi t$ ,  $t \in \mathbb{R}$  имеет бесконечную энергию, а значит не может описывать устойчивый фильтр;
- при  $t = 0$  функция  $g_{\Gamma}(t)$  имеет разрыв 2-го рода, устремляясь к бесконечности;
- не выполняется принцип причинности:  $g_{\Gamma}(t) = 0$ , при  $t < 0$ , согласно которому сигнал на выходе фильтра не может появиться раньше его поступления на вход фильтра

Таким образом, для построения физически реализуемого фильтра Гильберта необходимо избавиться от точек разрыва, обеспечить его устойчивость и выполнение принципа причинности. Естественно, платой за это могут служить ухудшение амплитудных и/или фазовых характеристик фильтра Гильберта.

Цель данной статьи – разработать метод синтеза устойчивых аналоговых БИХ- и КИХ-фильтров Гильберта, которые сохраняют основные характеристики идеального фазовращателя (равномерное усиление и поворот фазы на 90 градусов), но только в заданной рабочей полосе частот и с возможностью его физической реализуемости. Другими словами, у реализуемого фильтра Гильберта потери качества должны сводиться лишь к ограничению его частотного диапазона, величиной которого можно управлять.

Отметим, что все синтезируемые ниже фильтры Гильберта обладают важным свойством – их частотные характеристики строго ограничены или практически ограничены сверху некоторой частотой  $f_{\max}$ , т. е. всегда можно выполнить качественный переход от непрерывного времени к дискретному, применив теорему Котельникова. Это значительно упрощает последующий синтез цифровых фильтров Гильберта при сохранении качества идеального фазовращателя в заданной полосе частот.

В литературе нет наглядных материалов по синтезу аналоговых БИХ- и КИХ-фильтров Гильберта с указанными выше свойствами. Существующие программы для фильтра Гильберта из математического пакета MATLAB ориентированы на дискретное время и являются закрытыми, что не позволяет полноценно работать с различными параметрами, влияющими на его характеристики. Поэтому решаемая задача является актуальной.

Ниже излагается метод синтеза и получены аналитические выражения импульсных и частотных характеристик для различных вариантов устойчивого аналогового фильтра Гильберта, которые позволяют обеспечить идеальный поворот фазы на 90 градусов в заданной рабочей полосе частот. Приводятся и исследуются графики ИХ, АЧХ и ФЧХ таких фильтров Гильберта, экспериментально оценивается качество их работы по сравнению с аналогичными характеристиками идеального фильтра Гильберта. Полученные в работе аналитические выражения для аналоговых БИХ- и КИХ-фильтров Гильберта позволяют в дальнейшем эффективно использовать их для синтеза дискретных цифровых фильтров Гильберта, в том числе рекурсивных и нерекурсивных.

### Математическая формализация задачи и ее решение

Решение задачи разобьем на три этапа: 1) вывод аналитических выражений для устойчивого аналогового фильтра Гильберта (УФГ) с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-УФГ) и идеальными частотными характеристиками внутри заданного диапазона; 2) синтез и исследование устойчивого аналогового фильтра Гильберта с конечной им-

пульсной характеристикой (КИХ-УФГ), идеальной ФЧХ и практически идеальной АЧХ;  
 3) синтез физически реализуемого КИХ-УФГ.

**1. Синтез и анализ фильтра БИХ-УФГ.** Для построения устойчивого БИХ-фильтра Гильберта, работающего в заданном диапазоне частот, за основу был взят SQRT-фильтр [Сергиенко, 2011], импульсная характеристика которого математически описывается выражением

$$g_{sqr}(t) = \frac{4\beta\omega_o}{\pi^2 - (4\beta\omega_o t)^2} \left( \cos[\omega_o(1+\beta)t] + \frac{\sin[\omega_o(1-\beta)t]}{4\beta\omega_o t / \pi} \right), \omega_o = 2\pi F_o, t \in \mathbb{R}. \quad (5)$$

Выполняя обратное преобразование Фурье от (5), получим КЧХ этого фильтра:

$$K_{sqr}(jf) = \begin{cases} 1, & |f| \leq F_o(1-\beta) \\ \cos\left(\frac{\pi}{4F_o\beta}(|f| - F_o(1-\beta))\right), & F_o(1-\beta) < |f| \leq F_o(1+\beta) \\ 0, & |f| > F_o(1+\beta) \end{cases} \quad (6)$$

В формулах (5) и (6)  $\omega_o = 2\pi F_o$ , где  $F_o$  – частота среза, на которой  $K_{sqr}(jF_o) = 0,5$ . Ширина полосы пропускания фильтра совпадает с максимальной частотой спектра и равна  $f_{\max} = F_o(1+\beta)$ . Рабочей полосой такого фильтра назовем интервал положительных частот  $[0, F_h]$ ,  $F_h = F_o(1-\beta)$ , в пределах которого  $K_{sqr}(jf) = 1$ , то есть спектральные компоненты входного сигнала проходят без искажений. Коэффициент сглаживания  $\beta \in [0,1]$  позволяет изменять ширину полосы фильтра. Во всей области частот  $K_{sqr}(jf) \geq 0$  – четная вещественная неотрицательная функция, поэтому АЧХ данного фильтра  $K_{sqr}(f) = |K_{sqr}(jf)|$  будет совпадать с (6).

Графики кривых ИХ  $g_{sqr}(t)$  и АЧХ  $K_{sqr}(f)$  для частоты среза  $F_o = 20$  кГц и коэффициента сглаживания  $\beta = 0,1$  представлены на рис. 2, при этих значениях параметров  $f_{\max} = 22$  кГц,  $F_h = 18$  кГц.

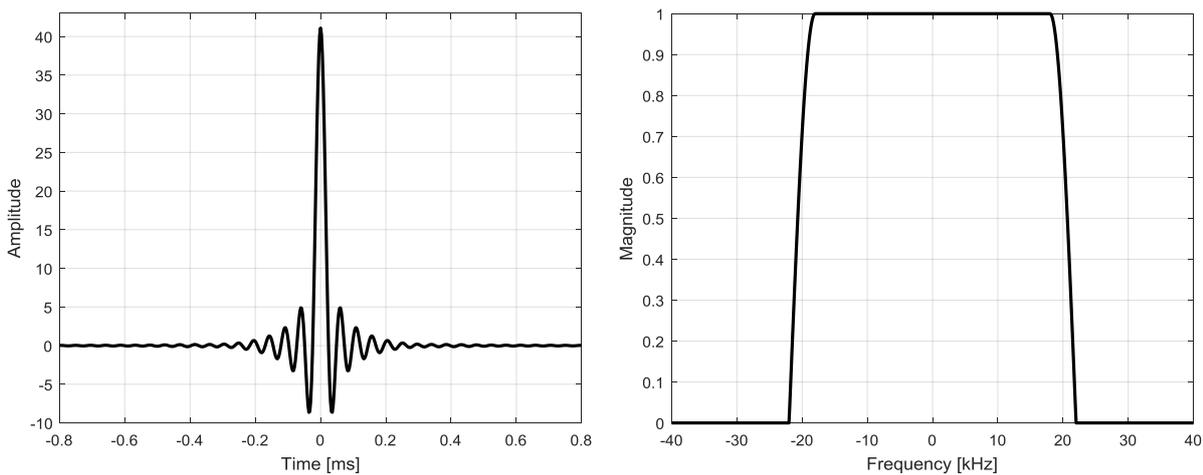


Рис. 2. ИХ SQRT-фильтра (слева), АЧХ SQRT-фильтра (справа)  
 Fig. 2. Impulse response (left), Frequency response (right) of the SQRT-filter

Синтез аналогового БИХ-УФГ фильтра сводится к нахождению аналитического выражения для его импульсной характеристики путем свертки импульсных характеристик SQRT-фильтра (6) и идеального фильтра Гильберта (2)



$$\hat{g}_\Gamma(t) = g_\Gamma(t) * g_{sqr}(t), \quad t \in \mathbb{R}. \quad (7)$$

Известно [Сергиенко, 2011], что в частотной области данная операция приводит к перемножению КЧХ фильтра Гильберта и SQRT-фильтра, заданных формулами (2) и (6), т. е.

$$\hat{K}_\Gamma(jf) = \mathcal{F}(\hat{g}_\Gamma(t)) = K_\Gamma(jf) \cdot K_{sqr}(jf), \quad f \in \mathbb{R}, \quad (8)$$

откуда следуют выражения для АЧХ и ФЧХ фильтра БИХ-УФГ

$$\hat{K}_\Gamma(f) = |\hat{K}_\Gamma(jf)|, \quad f \in \mathbb{R}, \quad (9)$$

$$\hat{\Phi}_\Gamma(f) = \arg(\hat{K}_\Gamma(jf)), \quad f \in \mathbb{R}. \quad (10)$$

Импульсная характеристика (8) может быть получена с помощью обратного преобразования Фурье от КЧХ  $\hat{K}_\Gamma(jf)$

$$\hat{g}_\Gamma(t) = \mathcal{F}^{-1}(\hat{K}_\Gamma(jf)) = \int_{-\infty}^{\infty} \hat{K}_\Gamma(jf) e^{j2\pi ft} df = \int_{-f_{\max}}^{f_{\max}} \hat{K}_\Gamma(jf) e^{j2\pi ft} df. \quad (11)$$

Так как  $K_\Gamma(jf)$  является чисто мнимой нечетной функцией частоты, а  $K_{sqr}(jf)$  – четная вещественная функция, то согласно (8) их произведение  $\hat{K}_\Gamma(jf)$  – нечетная чисто мнимая функция. Следовательно, по известным свойствам преобразования Фурье импульсная характеристика УФГ  $\hat{g}_\Gamma(t) = \mathcal{F}^{-1}(\hat{K}_\Gamma(jf))$  должна быть вещественной и нечетной.

Для взятия интеграла (11) разобьем интервал частот  $[-f_{\max}, f_{\max}]$ , где (8) отлична от нуля, на четыре области:  $\Omega_1 = [-F_o(1+\beta), -F_o(1-\beta)]$ ,  $\Omega_2 = [-F_o(1-\beta), 0]$ ,  $\Omega_3 = [0, F_o(1-\beta)]$ ,  $\Omega_4 = [F_o(1-\beta), F_o(1+\beta)]$ , выполним интегрирование по каждому из этих отрезков, а затем полученные результаты сложим. В результате после преобразований получим

$$\begin{aligned} \hat{g}_\Gamma(t) = & \frac{4F_o\beta}{\pi(1+8F_o\beta t)} (\cos(2\pi F_o t(1-\beta)) + \sin(2\pi F_o t(1+\beta))) - \\ & - \frac{4F_o\beta}{\pi(1-8F_o\beta t)} (\cos(2\pi F_o t(1-\beta)) - \sin(2\pi F_o t(1+\beta))) + \\ & + (1 - \cos(2\pi F_o t(1-\beta))) / \pi t, \quad t \in \mathbb{R}. \end{aligned} \quad (12)$$

Детальный анализ аналитического выражения (12) показывает, что функция  $\hat{g}_\Gamma(t)$  является непрерывной за исключением одной точки  $t=0$ , где она имеет устранимый разрыв. Доопределяя ее при  $t=0$  пределом  $\hat{g}_\Gamma(0) = \lim_{t \rightarrow 0} \hat{g}_\Gamma(t) = 0$ , получаем непрерывную нечетную

функцию на всей вещественной оси. Причем энергия ИХ  $\int_{-\infty}^{\infty} \hat{g}_\Gamma^2(t) dt < \infty$  конечна, т. е. соответствующий фильтр БИХ-УФГ действительно является устойчивым.

На рис. 3 для сравнения представлены графики ИХ фильтра (12) (слева) и ИХ идеального фильтра Гильберта (1) (справа). Видно, что процедура свертки (7) ведет к ограничению значений в точке  $t=0$  и возникновению колебательности на ветвях гиперболы  $g_\Gamma(t)$ . Последнее обусловлено колебательным характером ИХ  $g_{sqr}(t)$  (см. рис. 2 слева), входящим в свертку.

На рис. 4 приведены графики АЧХ  $\hat{K}_\Gamma(f)$  (слева) и ФЧХ  $\hat{\Phi}_\Gamma(f)$  (справа) фильтра БИХ-УФГ, вычисленные по формулам (8)–(10) при тех же параметрах SQRT-фильтра:  $F_o = 20$  кГц,  $\beta = 0,1$ ;  $f_{\max} = F_o(1+\beta) = 22$  кГц,  $F_h = F_o(1-\beta) = 18$  кГц.

Сравнительный анализ частотных характеристик фильтров БИХ-УФГ и ИФГ (см. рис. 4 и рис. 1) показывает, что в пределах интервала частот  $[-F_h, F_h]$  они совпадают, причем меняя параметры фильтра  $F_o, \beta$  можно управлять шириной  $F_h$  этого диапазона.

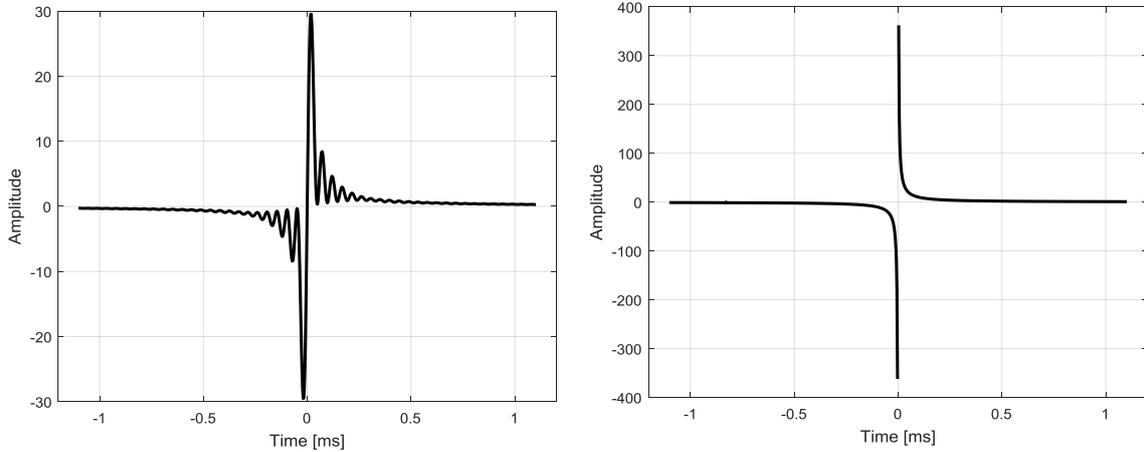


Рис. 3. ИХ фильтра БИХ-УФГ (слева), ИХ фильтра ИФГ (справа)  
Fig. 3. Infinite impulse responses of stable Hilbert filter (left) and ideal Hilbert filter (right) with infinite impulse response

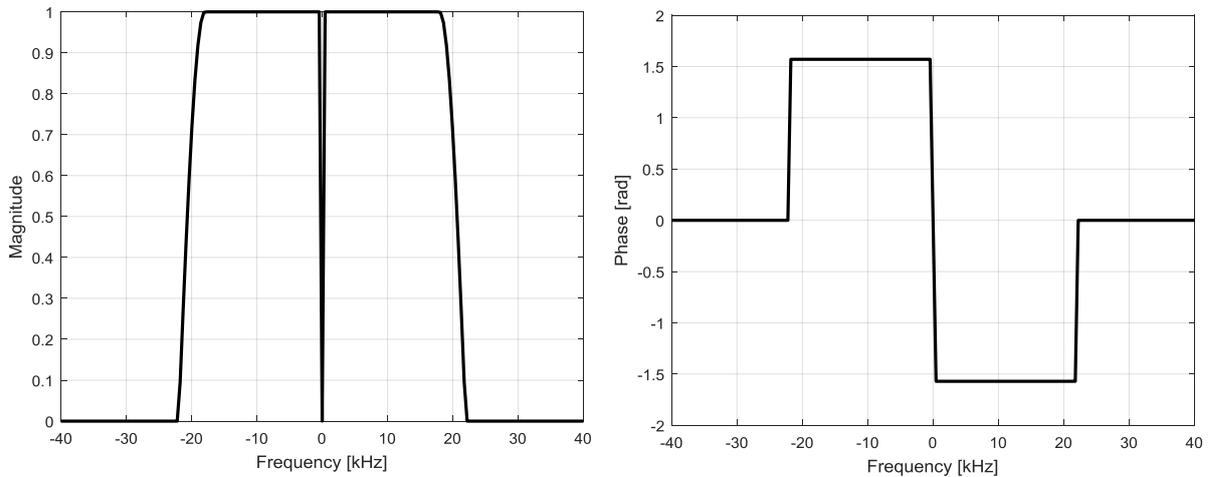


Рис. 4. АЧХ (слева) и ФЧХ (справа) фильтра БИХ-УФГ  
Fig. 4. Amplitude-frequency (left) and Phase-frequency (right) characteristics of stable Hilbert filter with infinite impulse response

За пределами интервала  $[-F_h, F_h]$  АЧХ  $\hat{K}_r(f)$  плавно спадает до нуля в точках  $\pm f_{\max}$ . На краях кривой ФЧХ  $\hat{\Phi}_r(f)$  вблизи точек  $\pm f_{\max}$  могут наблюдаться искажения фазы в виде вычислительных ошибок, которые обусловлены стремлением АЧХ к нулю и невозможностью оценить фазу при нулевом усилении  $\hat{K}_r(\pm f_{\max}) = 0$ . Результаты эксперимента на рис. 4 показывают – из-за устойчивости фазы к масштабным изменениям и финитности КЧХ (9) кривая  $\hat{\Phi}_r(f)$  сохраняет правильные значения фазы вплоть до точек  $\pm f_{\max}$ , где наблюдается резкий спад ФЧХ до нуля (см. рис. 4). Сохранение значения 0 на более высоких частотах объясняется процедурой  $\arg(\cdot)$ , которая автоматически доопределяется нулем когда ее аргумент равен 0.

**2. Синтез и анализ фильтра КИХ-УФГ.** Полученные выше аналитические выражения для устойчивого БИХ-фильтра Гильберта позволяют судить о его потенциальных возможностях. Однако при практической реализации часто приходится ограничивать длину импульсной характеристики фильтра.

На первый взгляд кажется, что если ИХ фильтра  $\hat{g}_\Gamma(t)$ ,  $t \in \mathbb{R}$  является непрерывной четной функцией, то ограничив ее по времени конечным интервалом  $[-T/2, T/2]$  достаточной длины  $T$  можно легко получить практически те же частотные характеристики, что и у БИХ фильтра. Однако это справедливо, только если спектр  $\hat{K}_\Gamma(jf) = \mathcal{F}(\hat{g}_\Gamma(t))$  – гладкая непрерывная функция частоты. В противном случае переход к конечной реализации  $\hat{g}_{\Gamma,T}(t) = \{\hat{g}_\Gamma(t), t \in [-T/2, T/2]\}$  приводит к искажению ее частотной характеристики в виде переходного затухающего колебательного процесса в точках разрыва – эффекту Гиббса. В данном случае (см. рис. 4) у функции  $\hat{K}_\Gamma(jf)$  в точке  $f = 0$  имеется разрыв 1-го рода. Поэтому в спектре  $\hat{K}_{\Gamma,T}(jf) = \mathcal{F}(\hat{g}_{\Gamma,T}(t))$  при  $f = 0$  наблюдается эффект Гиббса и возникает проблема его подавления. Отметим, что решение данной проблемы для непрерывного времени в дальнейшем гарантирует отсутствие эффекта Гиббса и для дискретной конечной реализации  $\hat{g}_{\Gamma,T}[i] = \hat{g}_{\Gamma,T}(t_i) = \hat{g}_{\Gamma,T}(i/2f_{\max})$ ,  $t_i \in [-T/2, T/2]$ , которая может быть использована на этапе разработки цифровых фильтров Гильберта (ЦФГ).

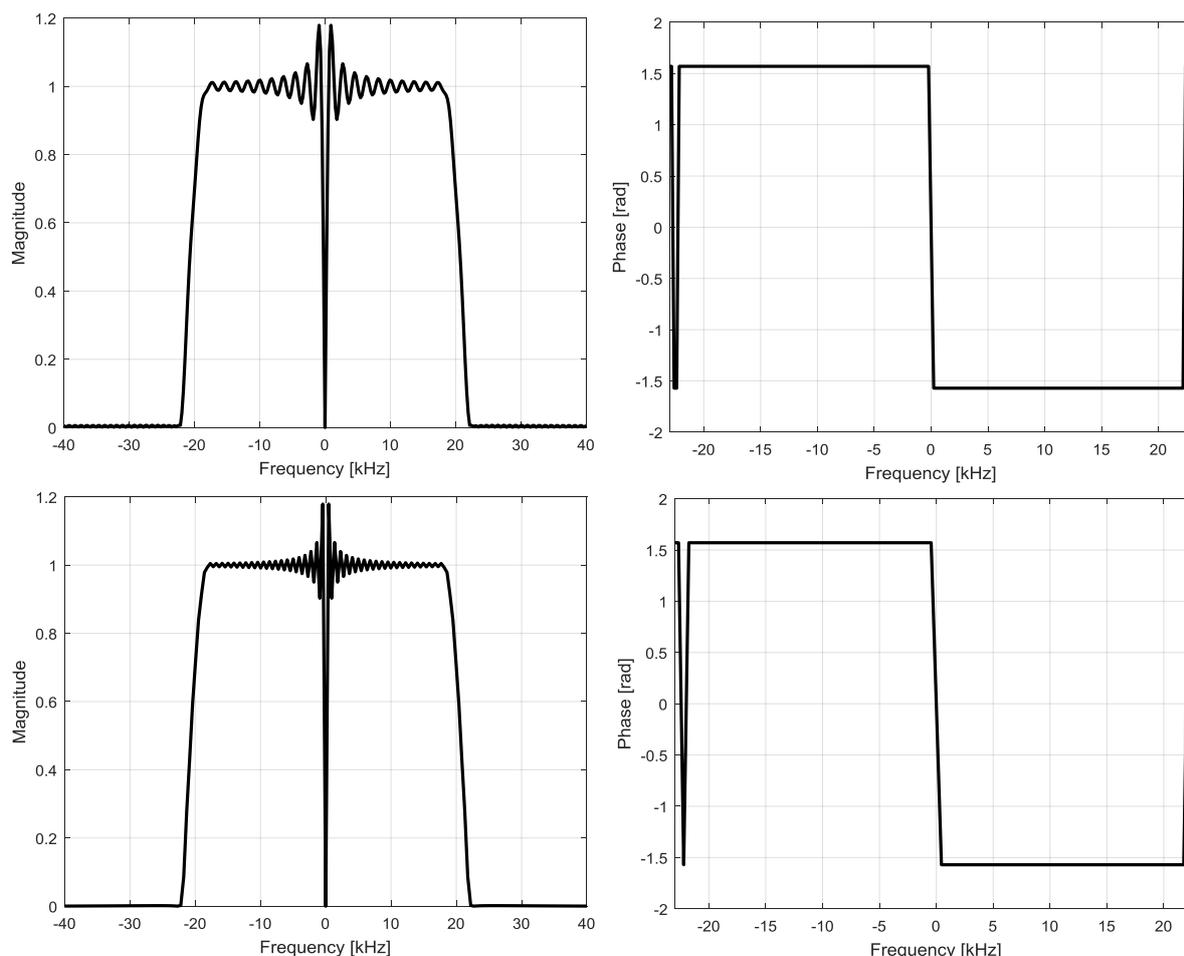


Рис. 5. АЧХ (слева) и ФЧХ (справа) фильтра КИХ-УФГ. Верхние графики соответствуют  $T = 2,2$  мс, нижние  $T = 4,4$  мс

Fig. 5. Amplitude-frequency (left) and Phase-frequency (right) characteristics of stable Hilbert filter with finite impulse response. The upper graphs correspond to  $T = 2,2$  ms, the lower graphs to  $T = 4,4$  ms

На рис. 5 представлены графики АЧХ (слева) и ФЧХ (справа) аналогового фильтра Гильберта с ограниченной по времени ИХ  $\hat{g}_{\Gamma,T}(t)$  (КИХ-УФГ), вычисленные по формулам

$$\hat{K}_{\Gamma,T}(f) = |\hat{K}_{\Gamma,T}(jf)| = |\mathcal{F}(\hat{g}_{\Gamma,T}(t))|, \quad f \in \mathbb{R} \quad (13)$$

$$\hat{\Phi}_{\Gamma,T}(f) = \arg(\hat{K}_{\Gamma,T}(jf)), \quad f \in \mathbb{R} \quad (14)$$

для двух значений длительности  $T: T_1 < T_2$  при тех же параметрах БИХ-УФГ фильтра, которые приводились выше. Все расчеты, включая преобразование Фурье  $\mathcal{F}(\cdot)$  в (13), выполнялись с использованием системы инженерных расчетов Матлаб. Видно, что АЧХ (см. рис. 5 слева) сильно искажены эффектом Гиббса, который проявляется в виде затухающего колебательного переходного процесса в частотной области, максимального вблизи частоты  $f = 0$  и спадающего к краям диапазона  $[-f_{\max}, f_{\max}]$ ,  $f_{\max} = 22$  кГц. Протяженность  $\varepsilon_f > 0$  переходного процесса Гиббса

$$\varepsilon_f > 0: |\hat{K}_{\Gamma,T}(\varepsilon_f) - \hat{K}_{\Gamma,T}(\varepsilon_f)| = \mu \in 0,01 \div 0,001, \quad (15)$$

определяемая как частота, при которой функция  $\hat{K}_{\Gamma,T}(f)$  в области точки  $f = 0$  падает до значения  $\hat{K}_{\Gamma,T}(\varepsilon_f) = (1 - \mu)$ , зависит от длительности реализации  $T$ . А именно, чем больше  $T$ , тем меньше  $\varepsilon_f$ . Причем с ростом  $T$  одновременно увеличивается частота колебаний переходного процесса, но его максимальное значение  $\max \hat{K}_{\Gamma,T}(f)$  остается прежним.

В то же время анализ графиков на рис. 5 (справа) показывает, что переходный процесс, вызванный эффектом Гиббса, практически не влияет на поведение фазочастотной характеристики  $\hat{\Phi}_{\Gamma,T}(f)$  (14). Так, в пределах полосы частот  $[-f_{\max}, f_{\max}]$ , кривая  $\hat{\Phi}_{\Gamma,T}(f)$  точно совпадает с ФЧХ  $\hat{\Phi}_{\Gamma}(f)$  (10) БИХ фильтра Гильберта. Как уже отмечалось выше, указанная нечувствительность фазы к изменению АЧХ объясняется ее инвариантностью к любым масштабным изменениям коэффициента передачи фильтра. Однако за пределами этой полосы уже наблюдаются пульсации фазы, вызванные спадом АЧХ практически до нуля и, как следствие, вычислительными ошибками. Пульсации лишь отображают факт, что при ограничении длительности ИХ  $\hat{g}_{\Gamma,T}(t)$  ее спектр  $\hat{K}_{\Gamma,T}(jf)$  уже не является строго финитным и его даже мизерные всплески за пределами  $[-f_{\max}, f_{\max}]$  вызывают «релейные срабатывания» оператора  $\arg(\cdot)$ .

Отметим, что причина появления эффекта Гиббса и характер поведения соответствующего переходного процесса в частотной области становятся более понятными, если учесть, что ограничение по длительности отрезком  $[-T/2, T/2]$  равносильно умножению  $\hat{g}_{\Gamma}(t)$  на прямоугольное весовое окно  $\Pi_T(t)$ , т. е.

$$\hat{g}_{\Gamma,T}(t) = \Pi_T(t) \cdot \hat{g}_{\Gamma}(t), \quad \Pi_T(t) = \begin{cases} 1, & |t| \leq T/2, \\ 0, & |t| > T/2 \end{cases} \quad (16)$$

По известному свойству преобразования Фурье такое умножение во временной области приводит к свертке спектров в частотной области

$$\hat{K}_{\Gamma,T}(jf) = \mathcal{F}(\hat{g}_{\Gamma,T}(t)) = \mathcal{F}(\Pi_T(t)) * \mathcal{F}(\hat{g}_{\Gamma}(t)) = T \frac{\sin(\pi f T)}{\pi f T} * \hat{K}_{\Gamma}(jf). \quad (17)$$

Спектр прямоугольного окна  $P_{\Pi}(f) = \mathcal{F}(\Pi_T(t))$  имеет вид медленно затухающей колебательной функции  $\sin(\pi f T) / \pi f T$ , у которой ширина  $1/T$  лепестков с ростом  $T$  уменьшается, а значит частота колебаний в спектре увеличивается. Поэтому при свертке  $P_{\Pi}(f)$  с функцией  $\hat{K}_{\Gamma}(jf)$  в окрестности  $-\varepsilon_f \leq f \leq \varepsilon_f$  (т. е. справа и слева от точки разрыва  $f = 0$ )



возникает похожий затухающий переходный процесс с резким подъемом вблизи нуля и последующим спадом до 1. Отметим, что максимум  $\max \hat{K}_{\Gamma,T}(f)$  переходного процесса определяется площадью под кривой  $P_{\Pi}(f)$ , которая не зависит от  $T$ . Поэтому эффективно бороться с эффектом Гиббса увеличением длительности  $T$  прямоугольного окна  $\Pi_T(t)$  не удастся – максимальный всплеск переходного процесса остается прежним при любых значениях  $T$ .

Ниже для подавления эффекта Гиббса предлагается использовать частотное сглаживание КЧХ  $\hat{K}_{\Gamma,T}(jf)$  с помощью специальных весовых окон  $w_T(t)$ , рассчитанных на выбранную длительность  $T$ . Фактически это равносильно замене в (16), (17) прямоугольного окна  $\Pi_T(t)$  на другое временное окно  $w_T(t)$ , которое обладает более подходящими спектральными характеристиками. В результате получаем взвешенную ограниченную на отрезке  $[-T/2, T/2]$  импульсную характеристику КИХ-фильтра

$$\tilde{g}_{\Gamma,T}(t) = w_T(t) \cdot \hat{g}_{\Gamma}(t) \quad (18)$$

$$\tilde{K}_{\Gamma,T}(jf) = \mathcal{F}(\tilde{g}_{\Gamma,T}(t)) = \mathcal{F}(w_T(t)) * \mathcal{F}(\hat{g}_{\Gamma}(t)) = W_T(f) * \hat{K}_{\Gamma}(jf). \quad (19)$$

Наилучшего результата подавления можно достичь, если весовое окно  $w_T(t)$  имеет очень узкий хорошо локализованный по частоте спектр  $W_T(jf)$ , а его ширина  $F_w \approx 1/T$  значительно меньше ширины спектра импульсной характеристики  $\hat{g}_{\Gamma}(t)$  фильтра БИХ-УФГ, т. е.  $F_w \ll f_{\max}$ . В этом случае процедура свертки (19) почти не влияет на ширину полосы БИХ-УФГ, а частотная характеристика  $\tilde{K}_{\Gamma,T}(f)$  остается практически финитной функцией с максимальной частотой спектра  $\tilde{f}_{\max} \approx f_{\max}$ .

Условию хорошей локализации по частоте удовлетворяют не все весовые окна. Среди наиболее подходящих для рассматриваемой задачи выделим два окна.

1. Окно Кайзера

$$w_1(t) = \begin{cases} \frac{I_0(\alpha \sqrt{1 - (2t/T)^2})}{I_0(\alpha)}, & |t| \leq T/2 \\ 0, & |t| > T/2 \end{cases} \quad (20)$$

где  $I_0$  – модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка,  $\alpha > 1$  – параметр, позволяющий управлять шириной главного лепестка весового окна и уровнем боковых лепестков. Чем больше  $\alpha$ , тем шире главный лепесток и меньше уровень боковых лепестков. Для наших целей в зависимости от  $T$  следует выбирать  $\alpha > 4$ .

2. Окно Чебышева

$$w_2(t) = \begin{cases} \mathcal{F}_t^{-1}(W_2(f)) / \mathcal{F}_0^{-1}(W_2(f)) & |t| \leq T/2, \\ 0, & |t| > T/2 \end{cases} \quad (21)$$

$$W_2(f) = \begin{cases} \frac{\cos(N \arccos(\gamma \cos(\pi f / 2 f_{\max})))}{\text{ch}(N \text{ arch}(\gamma))}, & |f| \leq f_{\max} \\ 0, & |f| > f_{\max} \end{cases} \quad \begin{matrix} N = 2 \lfloor T \cdot f_{\max} \rfloor + 1, \\ \gamma = \text{ch} \left( \frac{\text{arch}(10^{\eta})}{N} \right) \end{matrix} \quad (22)$$

где  $\mathcal{F}_t^{-1}(\cdot)$  – обратное преобразование Фурье, отвечающее моменту времени  $t$ ;  $\lfloor \cdot \rfloor$  – оператор взятия целой части;  $\eta$  [дБ] – максимальный уровень боковых лепестков окна в децибелах. Для наших целей в зависимости от  $T$  следует выбирать  $\eta > 40$  [дБ].

Все окна являются четными функциями и нормированы по амплитуде  $w_1(0) = w_2(0) = 1$ . Параметры  $T$ ,  $\alpha$ ,  $\eta$  окна позволяют подстроить частотную характеристику

КИХ-фильтра Гильберта (19) так, чтобы получить подходящую длительность  $\varepsilon_f > 0$  переходного процесса в частотной области при максимальном уровне подавления эффекта Гиббса по амплитуде.

АЧХ и ФЧХ фильтра Гильберта с весовой обработкой (19) принимают вид

$$\tilde{K}_{\Gamma,T}(f) = |\tilde{K}_{\Gamma,T}(jf)|, \quad \tilde{\Phi}_{\Gamma,T}(f) = \arg(\tilde{K}_{\Gamma,T}(jf)), \quad f \in \mathbb{R}, \quad (23)$$

а их графики для окна Чебышева (22) с уровнем боковых лепестков  $\eta = 60$  [дБ] и двух значений длительности  $T : T_1 = 2,2 \text{ мс} < T_2 = 4,4 \text{ мс}$  представлены на рис. 6 (параметры фильтра  $F_0, \beta$  те же). Сравнение их с аналогичными кривыми на рис. 5 показывает, что предложенная весовая обработка позволяет значительно подавить эффект Гиббса, сохранив те же фазо-частотные характеристики. Переходный процесс АЧХ в окрестности точки  $f = 0$  при этом сильно видоизменяется. А именно, в интервале  $0 \leq f \leq \varepsilon_f$  наблюдается плавное нарастание амплитуды от 0 до 1, т. е. время  $\varepsilon_f$  переходного процесса приобретает смысл длительности нарастания переднего фронта кривой  $\tilde{K}_{\Gamma,T}(f)$ . Причем величина  $\varepsilon_f$  по-прежнему зависит от длины  $T$  импульсной характеристики КИХ-фильтра и с ростом  $T$  уменьшается. В частности, при  $T = T_1$  получаем  $\varepsilon_f = 1,01 \text{ кГц}$ , а при  $T = T_2, \varepsilon_f = 0,507 \text{ кГц}$ . Поэтому, если мы хотим получить равномерное усиление  $\tilde{K}_{\Gamma,T}(f) \cong 1$  на более низких частотах, мы должны увеличивать длину  $T$ . Выбор же типа окна (Кайзера или Чебышева) и их параметров  $\alpha, \eta$  влияет только на амплитуду оставшихся пульсаций и позволяет получить высокий уровень их подавления.

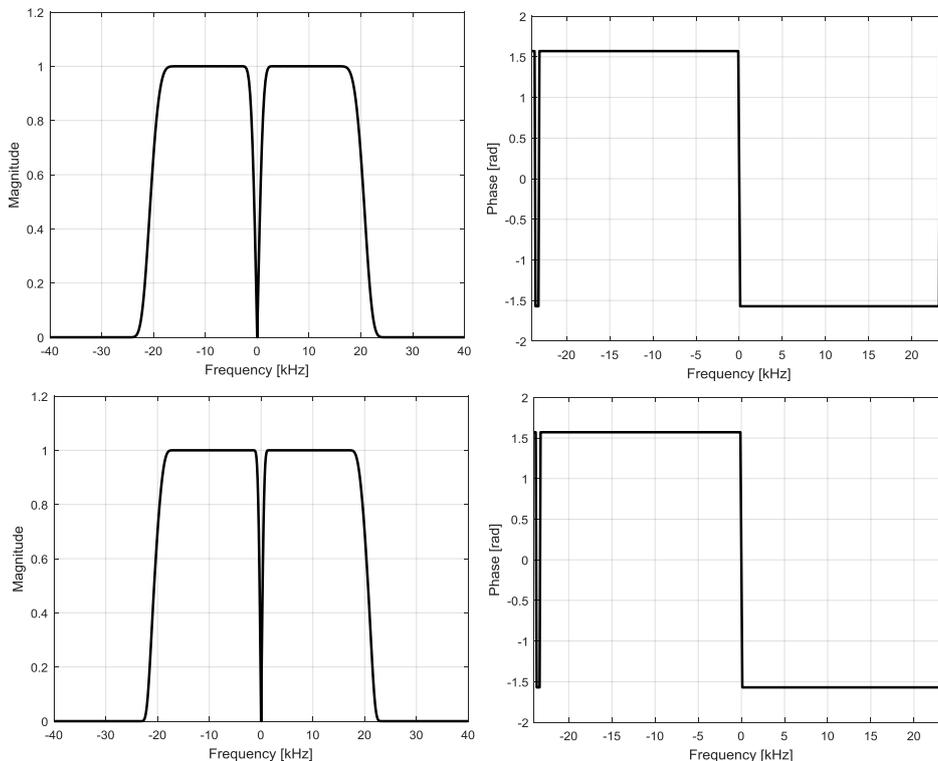


Рис. 6. АЧХ (слева) и ФЧХ (справа) фильтра КИХ-УФГ с окном Чебышева  $\eta = 60$  [дБ].

Верхние графики соответствуют  $T = 2,2 \text{ мс}$ , нижние  $T = 4,4 \text{ мс}$

Fig. 6. Amplitude-frequency (left) and Phase-frequency (right) characteristics of stable Hilbert filter with finite impulse response and Chebyshev window  $\eta = 60$  [dB]. The upper graphs correspond to  $T = 2,2 \text{ ms}$ , the lower graphs to  $T = 4,4 \text{ ms}$

В дальнейшем назовем рабочей полосой КИХ-УФГ фильтра (18)–(19) интервал частот  $[\varepsilon_f, F_h]$ , где согласно рис. 6 АЧХ и ФЧХ практически совпадают с аналогичными частотными характеристиками ИФГ (3), (4). Чтобы более точно оценить качество работы КИХ-УФГ фильтра с весовым окном в диапазоне частот  $[\varepsilon_f, F_h]$ , определим абсолютные и среднеквадратические ошибки (СКО) для АЧХ и ФЧХ формулами:

$$e_K(f_n) = |K_\Gamma(f_n) - \tilde{K}_{\Gamma,T}(f_n)|, \quad e_\Phi(f_n) = |\Phi_\Gamma(f_n) - \tilde{\Phi}_{\Gamma,T}(f_n)| \quad (24)$$

$$E_K = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\sum_{n=1}^N (K_\Gamma(f_n) - \tilde{K}_{\Gamma,T}(f_n))^2}, \quad E_\Phi = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\sum_{n=1}^N (\Phi_\Gamma(f_n) - \tilde{\Phi}_{\Gamma,T}(f_n))^2}, \quad (25)$$

где  $N = 300$  – число точек в сетке частот  $f_n \in [-F_h, F_h]$ ,  $n = 1, \dots, N$ .

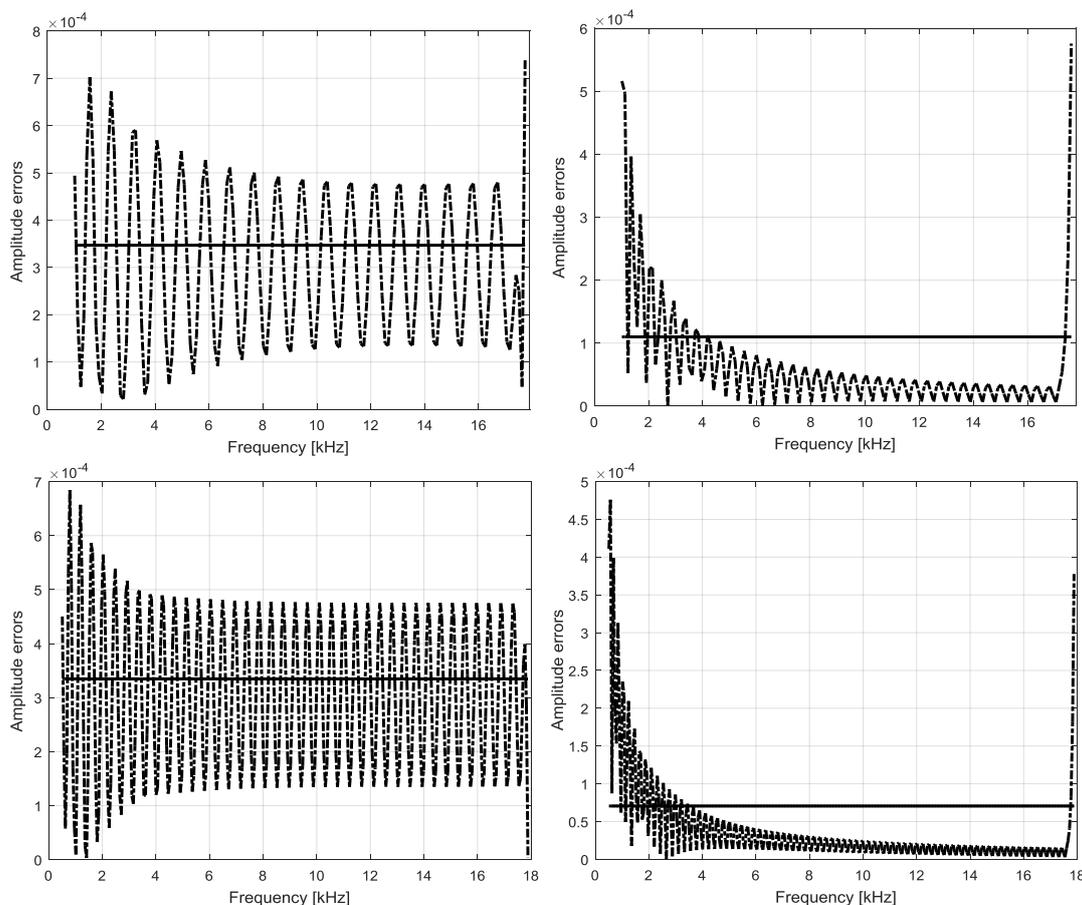


Рис. 7. Амплитудные ошибки для фильтра КИХ-УФГ с окном Чебышева  $\eta = 60$  [дБ] (слева) и с окном Кайзера  $\alpha = 7$  (справа). Верхние графики соответствуют  $T = 2,2$  мс, нижние  $T = 4,4$  мс  
 Fig. 7. Amplitude errors of Hilbert filter with finite impulse response with Chebyshev window  $\eta = 60$  [dB] (left) and Kaiser window  $\alpha = 7$  (right). The upper graphs  $T = 2,2$  ms, the lower graphs  $T = 4,4$  ms

Результаты проведенного эксперимента подтверждают, что ошибки по фазе равны нулю:  $e_\Phi(f_n) = 0$ ,  $f_n \in [-F_h, F_h]$  и  $E_\Phi = 0$  для всех типов окон и их параметров. Т. е. в рабочей полосе частот  $[\varepsilon_f, F_h]$  КИХ-УФГ фильтр (18)–(19) работает как идеальный фазовращатель. Ошибки по амплитуде  $e_K(f_n)$ ,  $E_K$  отличны от нуля и зависят от длительности окна и его параметров.

На рис. 7 слева (сверху вниз) штрих-пунктиром изображены графики ошибок  $e_K(f_n)$  для окна Чебышева ( $\eta = 60$ ). Аналогично, на том же рисунке справа (сверху вниз) изображены кри-

вые ошибок  $e_k(f_n)$  для окна Кайзера ( $\alpha = 7$ ). На всех графиках сплошными горизонтальными линиями указаны соответствующие уровни среднеквадратических ошибок  $E_k$ . Верхние графики построены при  $T = T_1$ , левые границы кривых ошибок совпадают частотой  $\varepsilon_f = 1,01$  кГц. Аналогично, нижним графикам соответствуют значения:  $T = T_2$ ,  $\varepsilon_f = 0,507$  кГц.

Анализ этих графиков показывает, что в рабочем диапазоне частот  $[\varepsilon_f, F_h]$  среднеквадратические ошибки (СКО) по амплитуде небольшие, а их отклонение от 1 составляет менее 0,1 % для всех выбранных типов окон и значений  $T$ . Однако наилучший результат получается у окна Кайзера, где СКО получаются в 3-4 раза меньше. Причем для разных окон амплитудные ошибки по частоте распределены не одинаково – у фильтра с окном Чебышева они распределены более равномерно, чем у фильтра с окном Кайзера.

### 3. Построение физически реализуемого фильтра КИХ-УФГ.

Для того чтобы любой устойчивый фильтр был физически реализуемым, необходимо чтобы его импульсная характеристика  $g(t)$  удовлетворяла условию:

$$g(t) = 0, \quad t < 0. \quad (26)$$

У фильтра КИХ-УФГ (18) импульсная характеристика  $\tilde{g}_{\Gamma, T}(t)$  не удовлетворяет условию (26), но он может быть преобразован к физически реализуемому, если в  $\tilde{g}_{\Gamma, T}(t)$  ввести подходящую задержку  $\tau_o \geq T/2$

$$\check{g}_{\Gamma, T}(t) = \tilde{g}_{\Gamma, T}(t - \tau_o), \quad t \in \mathbb{R}. \quad (27)$$

Очевидно, такой выбор  $\tau_o$  гарантирует, что  $\check{g}_{\Gamma, T}(t) = 0$  при  $t < 0$ , при этом  $\check{g}_{\Gamma}(t)$  является финитной функцией на интервале  $[T/2 - \tau_o, \tau_o + T/2]$ . Таким образом, импульсная характеристика (27) описывает физически реализуемый КИХ-УФГ. График  $\check{g}_{\Gamma, T}(t)$  для значения  $\tau_o = T/2$  с окном Чебышева ( $\eta = 60$  [дБ],  $T = 2,2$  мс) приведен на рис. 8 слева.

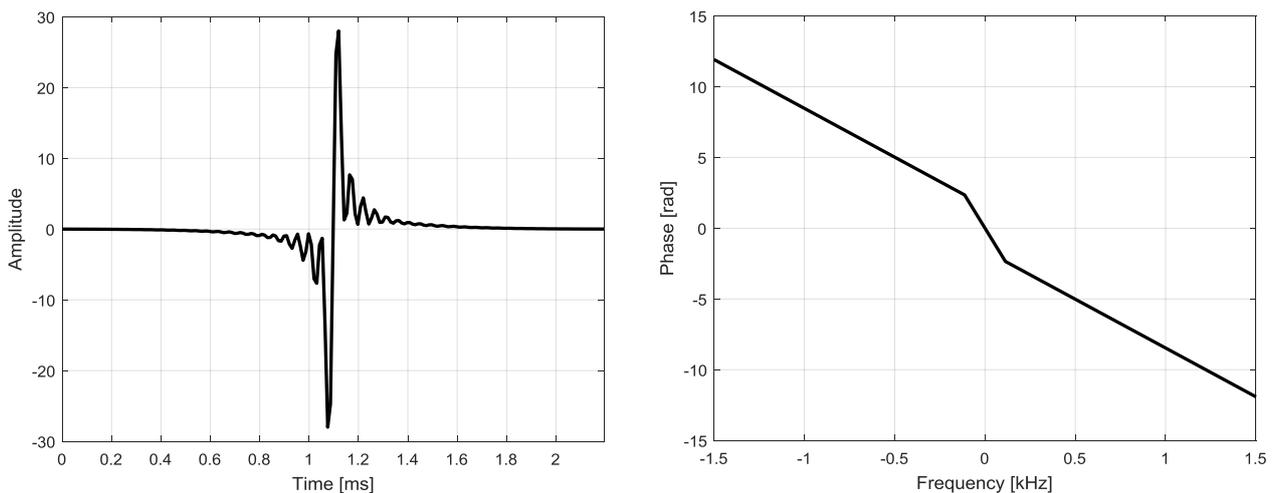


Рис. 8. ИХ (слева) и ФЧХ (справа) физически реализуемого фильтра КИХ-УФГ с окном Чебышева  $\eta = 60$  [дБ] длительностью  $T = 2,2$  мс

Fig. 8. Impulse response (left) and Phase-frequency response (right) of a physically realized Hilbert filter with Chebyshev window  $\eta = 60$  [dB] of duration  $T = 2,2$  ms



Соответствующие частотные характеристики КЧХ, АЧХ и ФЧХ такого фильтра описываются выражениями

$$\check{K}_{\Gamma,T}(jf) = \mathcal{F}(\check{g}_{\Gamma,T}(t - \tau_o)) = \check{K}_{\Gamma,T}(jf) \exp(-j2\pi f \tau_o), \quad f \in \mathbb{R}, \quad (28)$$

$$\check{K}_{\Gamma,T}(f) = |\check{K}_{\Gamma,T}(jf)| = \check{K}_{\Gamma,T}(f), \quad f \in \mathbb{R}, \quad (29)$$

$$\check{\Phi}_{\Gamma,T}(f) = \arg(\check{K}_{\Gamma,T}(jf)) = \check{\Phi}_{\Gamma,T}(f) - 2\pi\tau_o f, \quad f \in \mathbb{R}. \quad (30)$$

Из (29), (30) следует, что АЧХ  $\check{K}_{\Gamma,T}(f)$  совпадает с  $\check{K}_{\Gamma,T}(f)$  на рис. 6, а у ФЧХ  $\check{\Phi}_{\Gamma,T}(f)$  появляется линейный тренд  $-2\pi\tau_o f$ , накладывающийся на кривую  $\check{\Phi}_{\Gamma,T}(f)$ .

### Выводы

1. Получены строгие аналитические выражения для устойчивого аналогового БИХ-фильтра Гильберта с финитной частотной характеристикой, у которого АЧХ и ФЧХ в пределах заданного диапазона частот совпадают с характеристиками идеального фазовращателя.

2. Проведен поэтапный синтез аналогового КИХ-фильтра Гильберта, исследованы причины возникновения эффекта Гиббса в частотных характеристиках и его свойства. Предлагается и анализируется эффективный метод борьбы с переходным процессом Гиббса в частотной области и показано, что при специальном выборе весового сглаживания можно получить КИХ-фильтр Гильберта с практически идеальными характеристиками фазовращателя в заданной рабочей полосе частот.

3. Приводятся аналитические выражения для импульсной и частных характеристик физически реализуемого КИХ-фильтра Гильберта.

### Список литературы

- Айфичер Э., Джервис Б. 2008. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-е изд. М., Вильямс, 992.
- Волчков В.П. 2009. Новые технологии передачи и обработки информации на основе хорошо локализованных сигнальных базисов. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 15(70): 181–189.
- Волчков В.П., Асирян В.М. 2020. Сжатие изображений с использованием дискретного преобразования Вейля-Гейзенберга. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 47 (2): 412–421
- Волчков В.П., Асирян В.М. 2021. Возможности преобразования Вейля-Гейзенберга в стандарте сжатия jpeg. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 48(1): 188–200.
- Волчков В.П., Мирошниченко А.В. 2018. Вычисление эллиптических функций Якоби для расчета характеристик фильтра Кауэра. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 45(2): 298–311.
- Волчков В.П., Петров Д.А. 2009. Оптимизация ортогонального базиса Вейля-Гейзенберга для цифровых систем связи, использующих принцип OFDM/OQAM передачи. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 1(56): 102–112.
- Волчков В.П., Петров Д.А. 2009. Условия ортогональности обобщенных базисов Вейля-Гейзенберга для OFDM сигналов. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 15(70): 190–199.
- Волчков В.П., Санников В.Г. 2016. Синтез канальных прекодеров для цифровых систем связи с финитным сигнальным базисом. Электросвязь. 4: 41–45.
- Волчков В.П., Санников В.Г. 2017. Оптимальное канальное прекодирование с ограничением уровня пульсаций на краях символического интервала. Электросвязь. 6: 35–39.

- Волчков В.П., Санников В.Г. 2018. Синтез оптимальных предсказанных финитных сигналов на основе желаемого эталона. *Электросвязь*. 5: 26–30.
- Волчков В.П., Санников В.Г. 2019. Синтез ортогональных вещественных сигнальных базисов Вейля-Гейзенберга на основе алгебраического подхода. *Электросвязь*. 5: 24–30.
- Волчков В.П., Санников В.Г. 2020. Синтез банка фильтров на основе комплексного базиса Вейля-Гейзенберга. *Электросвязь*. 5: 98–102.
- Сергиенко А.Б. 2011. *Цифровая обработка сигналов*. 3-е изд. СПб., БХВ-Петербург, 768.
- Смит С. 2012. *Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников*. М., Додэка-XXI, 720.
- Sannikov V.G., Volchkov V.P. 2018. Noise stability of transmission of optimum finite signals on the linear communication channel with aliquot poles. 2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO 2018). Item #: 40677. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc. (Oct 2018)
- Sannikov V.G., Volchkov V.P. 2019. Digital Coherent Modem with Space-Time Transmission and Reception of Optimal Finite Signals. Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)", Russia, 2019, pp. 1–5. (doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8814114)
- Sannikov V.G., Volchkov V.P. 2020. Multi-Carrier Modulations Digital Modem with the narrow-band Optimal Signals and high spectral energy Efficiency. 22th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA). Pub.: IEEE. 06 October 2020, Moscow, Russia, INSPEC Accession Number: 20032586, doi: 10.1109/DSPA48919.2020.9213281.
- Volchkov V. et al. 2019. Improving the Noise Immunity of the Modem with the Optimal Finite Signals that do not Cause Intersymbol Interference in a Linear Communication Channel., 2019 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Moscow, Russia: 502–508. Item #: 48657. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc.
- Volchkov V. et al. 2019. Presentation and Analysis of Continuous Signals in the Space of Complex Exponential Models. 2019 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)", Russia, 2019, pp. 1–6. (doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8813941)
- Volchkov V. et al. 2019. Synthesis of Real Weyl-Heisenberg Signal Frames with Desired Frequency-Time Localization, 2019 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Moscow, Russia: 502–508. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), (doi:10.23919/FRUCT.2019.8711969)
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2018. Algebraic approach to the optimal synthesis of real signal Weyl-Heisenberg bases. Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO 2018). Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc. (Oct 2018): 135–142.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2020. Syntheses of a Frequency-Time Filter Bank Based on Weyl-Heisenberg Complex Bases. 22th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA)." Pub.: IEEE. 06 October 2020, Moscow, Russia, INSPEC Accession Number: 20032584, doi: 10.1109/DSPA48919.2020.9213251.

## References

- Ifeachor E.C., Jervis B.W. 2008. *Digital Signal Processing. A Practical Approach*. 2nd ed. M., Williams, 992.
- Volchkov V.P. 2009. A new technology of transmitting and processing of information based on well-localized signal basis. *Nauchnye vedomosti belgu. Istoriya. Politologiya. Ekonomika. Informatika*. [Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies]. 15(70): 181–189.
- Volchkov V.P., Asiryanyan V.M. 2020. Image Compression Using Discrete Weyl-Heisenberg Transform. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*. 47(2): 412–421.
- Volchkov V.P., Asiryanyan V.M. 2021. Possibilities of the Weyl-Heisenberg transformation in the jpeg compression standard. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*. 48(1): 188–200.
- Volchkov V.P., Miroshnichenko A.V. 2018. Calculating the Jacobi Elliptic Functions to calculate the characteristics of Cauey filter. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies*. 45(2): 298–311.



- Volchkov V.P., Petrov D.A. 2009. Orthogonal Weyl-Heisenberg basis optimisation for digital communication systems based on OFDM/OQAM. *Nauchnye vedomosti belgu. Istoriya. Politologiya. Ekonomika. Informatika. [Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Eco-nomics Information technologies]*. 1(56): 102–112.
- Volchkov V.P., Petrov D.A. 2009. Generalized Weyl-Heisenberg bases orthogonality conditions for OFDM signals. *Nauchnye vedomosti belgu. Istoriya. Politologiya. Ekonomika. Informatika. [Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies]*. 15(70): 190–199.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2016. Synthesis of channel precoder for digital communication systems with finite signal basis. *Electrosvyaz*. 4: 41–45.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2017. Optimal channel precoding with restriction level pulsation at the edges of the symbol interval. *Electrosvyaz*. 6: 35–39.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2018. Synthesis of optimal preemphasis finite signals based on the desired reference. *Electrosvyaz*. 5: 26–30.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2019. Synthesis of orthogonal real signal bases Weyl-Heisenberg based on algebraic approach. *Electrosvyaz*. 5: 24–30.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2020. Syntheses of a filter bank based on Weyl-Heisenberg complex basis. *Electrosvyaz*. 5: 98–102.
- Sergienko A.B. 2011. *Digital Signal Processing*. 3-rd ed. St. Petersburg., BHV-Petersburg, 768.
- Smith S.W. 2012. *Digital Signal Processing. A Practical Guide for Engineers and Scientists*. M., Dodekaxxi, 720.
- Sannikov V.G., Volchkov V.P. 2018. Noise stability of transmission of optimum finite signals on the linear communication channel with aliquot poles. 2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO 2018). Item #: 40677. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc. (Oct 2018)
- Sannikov V.G., Volchkov V.P. 2019. Digital Coherent Modem with Space-Time Transmission and Reception of Optimal Finite Signals. *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, Russia, 2019, pp. 1–5. (doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8814114)
- Sannikov V.G., Volchkov V.P. 2020. Multi-Carrier Modulations Digital Modem with the narrow-band Optimal Signals and high spectral energy Efficiency. 22th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA). Pub.: IEEE. 06 October 2020, Moscow, Russia, INSPEC Accession Number: 20032586, doi: 10.1109/DSPA48919.2020.9213281.
- Volchkov V. et al. 2019. Improving the Noise Immunity of the Modem with the Optimal Finite Signals that do not Cause Intersymbol Interference in a Linear Communication Channel., 2019 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Moscow, Russia: 502-508. Item #: 48657. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc.
- Volchkov V. et al. 2019. Presentation and Analysis of Continuous Signals in the Space of Complex Exponential Models. *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, Russia, 2019, pp. 1–6. (doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8813941)
- Volchkov V. et al. 2019. Synthesis of Real Weyl-Heisenberg Signal Frames with Desired Frequency-Time Localization, 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Moscow, Russia: 502–508. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), (doi:10.23919/FRUCT.2019.8711969)
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2018. Algebraic approach to the optimal synthesis of real signal Weyl-Heisenberg bases. *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO 2018)*. Publ: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), POD Publ: Curran Associates, Inc. (Oct 2018): 135–142.
- Volchkov V.P., Sannikov V.G. 2020. Syntheses of a Frequency-Time Filter Bank Based on Weyl-Heisenberg Complex Bases. 22th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA)." Pub.: IEEE. 06 October 2020, Moscow, Russia, INSPEC Accession Number: 20032584, doi: 10.1109/DSPA48919.2020.9213251.

**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

**Волчков Валерий Павлович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры общей теории связи, Московский технический университет связи и информатики, г. Москва, Россия

**Антипова Анна Николаевна**, студентка магистратуры факультета сети и системы связи, Московский технический университет связи и информатики, г. Москва, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Valery P. Volchkov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of General Communication Theory, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia

**Anna N. Antipova**, Master's Student of the Faculty of Networks and Communication Systems, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia



УДК 621.39

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-432-440

## Экспериментальные исследования по распознаванию малоразмерных объектов на видеоизображениях при использовании многомерных пространственно-субполосных векторов

Голощапова В.А., Заливин А.Н., Маматов Е.М., Олейник И.И.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

E-mail: oleinik\_i@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Разработано решающее правило для распознавания малоразмерных объектов на видеоизображениях, которое позволяет распознавать различные малоразмерные объекты на видеоизображениях с высокими показателями качества. Входными данными для решающего правила являются выборки пространственно-субполосных векторов, сформированных по изображению объектов. Проводятся экспериментальные исследования решающей функции с использованием изображений с находящимися на них различными малоразмерными объектами. Приводятся полученные численные значения логарифма отношения правдоподобия, используемые для принятия решения о распознавании объекта. Экспериментальные исследования показали, что наибольшие значения логарифма отношения правдоподобия располагаются пропорционально тем пикселям исследуемого изображения, на которых находится объект, по которому было проведено обучение. Экспериментальные исследования с использованием натуральных данных подтверждают возможности разработанного решающего правила по распознаванию малоразмерных объектов на видеоизображениях. Показано, что разработанное решающее правило позволяет проводить распознавание малоразмерных объектов на видеоизображениях при проведении априорного обучения.

**Ключевые слова:** решающая функция, оценка, распознавание, экспериментальные исследования, вектор, ковариационная матрица, субполосный

**Для цитирования:** Голощапова В.А., Заливин А.Н., Маматов Е.М., Олейник И.И. 2022. Экспериментальные исследования по распознаванию малоразмерных объектов на видеоизображениях при использовании многомерных пространственно-субполосных векторов. Экономика. Информатика, 49(2): 432–440. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-432-440

---

## Experimental Studies on the Recognition of Small-Sized Objects in Video Images Using Multidimensional Spatial-Subband Vectors

Vera A. Goloschapova, Alexander N. Zalivin, Evgeniy M. Mamatov, Ivan I. Oleynik

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

E-mail: oleinik\_i@bsu.edu.ru

**Abstract.** A decisive rule has been developed for recognizing small-sized objects in video images, which allows recognizing various small-sized objects in video images with high quality indicators. The input data for the decisive rule are samples of spatially subband vectors formed from the image of objects. Experimental studies of the decisive function are carried out using images with various small-sized objects located on them. The obtained numerical values of the logarithm of the likelihood ratio used to make a decision on object recognition are given. Experimental studies have shown that the largest values of the logarithm of the likelihood ratio are located proportionally to those pixels of the image under study on which

the object on which the training was conducted is located. The developed decisive rule makes it possible to recognize various small-sized objects on video images with high quality indicators. The developed approach to the construction of the decision rule allows us to use optimal solutions and use the Neumann-Pearson criterion to set the threshold level. Experimental studies using in-situ data confirm the capabilities of the developed decisive rule for the recognition of small-sized objects in video images.

**Keywords:** decision function, evaluation, recognition, experimental studies, vector, covariance matrix, sub-band

**For citation:** Goloshapova V.A., Zalivin A.A., Mamatov E.M., Oleynik I.I. 2022. Experimental Studies on the Recognition of Small-Sized Objects in Video Images Using Multidimensional Spatial-Subband Vectors. Economics. Information technologies, 49(2): 432–440 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-2-432-440

## Введение

Обнаружение и распознавание объектов на видеоизображениях, в том числе малоразмерных, требует решения целого ряда взаимосвязанных задач.

В настоящее время существует множество методов и алгоритмов по обнаружению и распознаванию объектов на видеоизображениях, которые основаны на сравнении изображений и используют различные подходы и математические модели. Для распознавания реперных знаков применяют методы — интегральные, контурные и характерных точек и др. [Furman, 2004]. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Несмотря на простоту в реализации и быстродействие, метод характерных точек не обеспечивает инвариантность к сдвигу и повороту объекта на изображении. При использовании интегральных методов параметры положения вычисляются по информации о всём полутоновом изображении, поэтому неизбежно растут вычислительные затраты.

В контурном методе распознавание проводится с использованием степени сходства найденного контура и эталонов, которая определяется коэффициентом корреляции [Girenko, Lyashenko, Mashtalir, Putyatin, 1996]. Для реализации этого метода необходимо произвести выделение и анализ контура с высокой помехоустойчивостью, что приводит к увеличению объема вычислительных затрат [Vasin, Lebedev, 2007].

Хорошо отработаны алгоритмы обнаружения движущихся объектов, часто используемые в камерах видеонаблюдения. Однако такие алгоритмы не распознают объекты и не обнаруживают неподвижные объекты. Например, это проявляется при обнаружении малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (например, типа коптер), которые длительное время могут оставаться неподвижными.

В общем случае для решения задачи распознавания необходимо осуществить выбор информативных признаков объектов распознавания, выбор способа описания признаков, минимизирующего вычислительные затраты на распознавание, выбор процедуры принятия решений в реальном времени. Спецификой проблемы распознавания объектов является существенная априорная неопределенность относительно количества классов объектов, их признаков и характеристик, что не позволяет использовать традиционные методы распознавания объектов, ориентированные на постобработку данных.

## Пространственно-субполосное представление видеоизображений

Применение субполосного представления видеоизображений позволяет сохранять как пространственную, так и частотную структуру изображения объекта [Zhilyakov, Belov, Oleynik, Babarinov, Trubitsyna, 2020]. Это может дать преимущество перед другими методами, использующими правила распознавания с предварительным определением и использованием параметров информативности признаков распознавания.



Для этого возможно использовать методы субполосного анализа и синтеза сигналов [Zhilyakov, 2015].

Видеоизображение можно представить в виде пикселей с битовым представлением (например  $P = 2^c$ ,  $c$  – биты) уровней яркости. Число бит определяет количество градаций уровней яркости от черного до белого цвета.

Одну строку изображения (образованную пикселями выделенного фрагмента изображения) можно представить в векторном виде [Zhilyakov, Belov, Oleinik, Prokhorenko, 2019]

$$\vec{S} = (s_1, s_2, \dots, s_Q), \quad q = 1, \dots, Q, \quad (1)$$

где:  $Q$  – количество пикселей в строке;  $q$  – номер пикселя;  $s$  – число уровней градации пикселя (яркость).

В общем виде аналогично можно представить в векторном виде и столбец изображения, образованный пикселями. В дальнейшем будем рассматривать построчные представления.

Изменение яркости пикселей в строке изображения (сигнальные компоненты) будут соответствовать некоторым «пространственным частотам».

Энергия сигнальных компонент в общем случае сосредоточена в малом числе достаточно узких интервалов частотной области. В этом случае возможно разбиение частотной оси на ряд частотных интервалов [Zhilyakov, 2015]

$$\Delta\omega = 4\pi / (Q - 1). \quad (2)$$

Исходя из соотношения (2) можно получить [Zhilyakov, 2015]

$$\Omega_k = [-\Omega_{1k}, -\Omega_{2k}) \cup [\Omega_{1k}, \Omega_{2k}), \quad k = 0, \dots, K \quad (3)$$

$$\Omega_{10} = 0; \quad \Omega_{20} = 2\pi / (Q - 1); \quad \Omega_{1k} = \Omega_{2k-1}; \quad \Omega_{2k} - \Omega_{1k} = 4\pi / (Q - 1), \quad (4)$$

где:  $K$  – количество частотных интервалов;  $k$  – номер частотного интервала.

Часть энергии сигнала, попадающая в заданный частотный интервал, можно найти как [Zhilyakov, 2015]

$$P_k(s) = \int_{\omega \in \Omega_k} |S(\omega)|^2 d\omega / 2\pi. \quad (5)$$

Представление сигнала непосредственно в области оригиналов можно записать в виде квадратичной формы [Zhilyakov, 2015]

$$U_k(\vec{s}) = \vec{s}^T \mathbf{A}_k \vec{s}, \quad (6)$$

где:  $\mathbf{A}_k$  – субполосная матрица с элементами

$$a_{\gamma\xi}^k = \frac{\sin[\Omega_{2k}(\gamma - \xi)] - \sin[\Omega_{1k}(\gamma - \xi)]}{\pi(\gamma - \xi)} \quad \text{при } \gamma \neq \xi;$$

$$a_{\gamma\xi}^k = \frac{\Omega_{2k} - \Omega_{1k}}{\pi} \quad \text{при } \gamma = \xi; \quad \gamma, \xi = 1, \dots, Q.$$

Субполосная матрица  $\mathbf{A}_k$  рассчитывается для каждого частотного интервала  $k$ . После преобразования (6) вектор (1) преобразовывается в вектор  $\vec{U}$  размерностью  $k$ : [Zhilyakov, Belov, Oleinik, Prokhorenko, 2019]

$$\vec{U} = (U_{(1)} \quad U_{(2)} \quad \dots \quad U_{(k)})^T, \quad (7)$$

где:  $U$  – доля энергии сигнала в частотном интервале;  $k = 1, \dots, K$  – номер частотного интервала;  $T$  – знак транспонирования.

Вектор вида (7) можно назвать пространственно-субполосным вектором (ПСВ).

Изображение размерностью  $N$  на  $Q$  пикселей можно представить в виде выборки векторов объема  $N$  с размерностью  $K$

$$\mathbf{U}^{(N)} = \begin{pmatrix} U_{(1)1} & U_{(1)2} & \dots & U_{(1)N} \\ U_{(2)1} & U_{(2)2} & \dots & U_{(2)N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ U_{(k)1} & U_{(k)2} & \dots & U_{(k)N} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где:  $N$  – объем выборки; первый символ (в скобках) при  $U$  – обозначает номер частотного интервала; второй символ при  $U$  (без скобок) – обозначает номер вектора в выборке  $i=1, \dots, N$ .

В данном случае  $N$  будет обозначать количество строк изображения, а  $K$  – количество частотных интервалов (субполос). В общем случае преобразование возможно проводить и по столбцам (тогда  $N$  будет обозначать количество столбцов).

В данном случае вектор является многомерной случайной величиной. Причем его размерность равна количеству частотных интервалов (субполос). По сути, это пространственно-субполосный вектор (ПСТВ). Процесс формирования изображения подвержен случайным возмущениям, вероятностный характер которых сказывается на всех этапах. Данное предположение позволяет использовать статистический подход к получению оценок распределения выборки ПСТВ. Вероятностное распределение выборки характеризуется первым начальным моментом и вторым центральным моментом [Fomin, Tarlovsky, 1986]. Оценка вектора математического ожидания выборки (8) определяется выражением

$$\bar{\mathbf{m}}^{(k)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{\mathbf{U}}_{(k)i}. \quad (9)$$

Размерность вектора  $\bar{\mathbf{m}}$  равна  $K$ .

Оценка ковариационной матрицы вычисляется в соответствии с выражением

$$\mathbf{M}_{(k \times k)} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{\mathbf{U}}_{(k)i} - \bar{\mathbf{m}}^{(k)}) (\bar{\mathbf{U}}_{(k)i} - \bar{\mathbf{m}}^{(k)})^T. \quad (10)$$

Элементы ковариационной матрицы отражают степень статистической связи элементов исходного вектора фиксируемых параметров между собой. Фактически это субполосная ковариационная матрица (СКМ) с размерностью  $K \times K$ .

Плотность вероятности  $i$ -го вектора выборки при Гауссовом распределении выборки записывается в виде выражения [Burdanova, Zhilyakov, Mamatov, Nemtsev, Oleynik, 2019]

$$P(\bar{\mathbf{U}}_{(k)i}) = \frac{1}{(2\pi)^n (\det \mathbf{M}_{(k \times k)})^n} \exp \left[ -\frac{1}{2} (\bar{\mathbf{U}}_{(k)i} - \bar{\mathbf{m}}^{(k)})^T \mathbf{M}_{(k \times k)}^{-1} (\bar{\mathbf{U}}_{(k)i} - \bar{\mathbf{m}}^{(k)}) \right]. \quad (11)$$

Такое представление данных при обработке информации позволяет применить статистический подход и описать данные, полученные по видеоизображению объекта, в виде Гауссова распределения с оценкой спектральной ковариационной матрицы объекта.

### Решающее правило распознавания

Все виды решающих правил основаны на формировании отношения правдоподобия и его сравнении с определенным порогом, значение которого определяется выбранным критерием качества [Fomin, Tarlovsky, 1986].

При статистическом распознавании в решающем правиле с порогом сравнивается не само отношение правдоподобия, а его оценка, полученная в ходе обучения [Zalivin, Oleynik, Pirogenko, 2020].

В этом случае задачей параметрического обучения будет оценивание параметров нормальных плотностей вероятностей, используемых в решающем правиле. Поэтому в дальнейшем будем оперировать не моментами распределения, а их оценками.

Исходный вектор имеет размерность  $k$ , которая фактически определяет количество частотных интервалов (или субполос).



Построение решающих правил рассмотрим на примере распознавания малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Изображение БПЛА приведено на рис. 1. Сформулируем гипотезы.

Гипотеза  $H_0$  – на изображении нет объекта. Гипотеза  $H_1$  – на изображении присутствует объект. При этом в качестве обучающей выборки необходимо использовать выборку, полученную априори по объекту. В качестве контрольной выборки используется выборка, получаемая при текущем оценивании параметров исследуемого изображения. В данном случае распознавание является двухальтернативным. Это дает возможность использовать достаточно известные критерии. Например, порог можно определить в соответствии с критерием Неймана – Пирсона [Goloscharova, Kalashnikov, Oleynik, 2020], задав вероятность ошибки первого рода  $\alpha$  (ложная тревога). Чем меньше заданная  $\alpha$ , тем больше порог. Решающее правило (логарифм отношения правдоподобия) можно записать в виде [Burdanova, Zhilyakov, Mamatov, Nemtsev, Oleynik, 2019]

$$L = \frac{n}{2} \ln \frac{|\mathbf{M}_{(k \times k)}^{(1)}|}{|\mathbf{M}_{(k \times k)}^{(0)}|} + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n ((\tilde{\mathbf{U}}_{(k)i} - \bar{\mathbf{m}}_{(k)}^{(1)})^T \cdot (\mathbf{M}_{(k \times k)}^{(1)})^{-1} \cdot (\tilde{\mathbf{U}}_{(k)i} - \bar{\mathbf{m}}_{(k)}^{(1)}) - (\tilde{\mathbf{U}}_{(k)i} - \bar{\mathbf{m}}_{(k)}^{(0)})^T \cdot (\mathbf{M}_{(k \times k)}^{(0)})^{-1} \cdot (\tilde{\mathbf{U}}_{(k)i} - \bar{\mathbf{m}}_{(k)}^{(0)})) > \ln C, \quad (12)$$

где: верхние индексы при оценках  $\mathbf{m}$  и  $\mathbf{M}$  обозначают гипотезу (1 соответствует гипотезе  $H_1$ , 0 гипотезе  $H_0$ ); нижние индексы определяют размерность.

Поскольку объекты на изображении малоразмерные (т. е. размер объекта существенно меньше самого изображения), то алгоритм должен предусматривать проведение текущего оценивания параметров контрольной выборки. Размер «окна», в котором производится оценивание, выбирается соизмеримым с размером объекта. Таким «окном» необходимо пройти все изображение (например, построчно и по столбцам, со сдвигом на определенное количество пикселей). После каждого текущего оценивания параметров контрольной выборки необходимо рассчитать логарифм отношения правдоподобия (12) и сравнить его с заданным порогом.

Данное решающее правило позволяет распознавать конкретный объект (малоразмерный БПЛА), по которому было проведено обучение.

### Экспериментальные исследования

Исследования проводились с использованием изображений беспилотных летательных аппаратов типа коптер. На рис. 1 приведено изображение объекта, по которому была сформирована обучающая выборка (эталонное изображение) и исследуемое изображение. На рис. 2 приведено изображение, на котором приведено значение логарифма отношения правдоподобия (12), пропорционально строкам и столбцам пикселей исследуемого изображения.

На рис. 2 видно, что наибольшие значения логарифма отношения правдоподобия располагаются пропорционально тем пикселям исследуемого изображения, на которых находится объект, по которому было проведено обучение.

Аналогично были проведены экспериментальные исследования изображения, на котором присутствуют два различных объекта (коптера). При этом обучающая выборка была сформирована только по одному объекту. На рис. 3 приведено изображение объекта, по которому была сформирована обучающая выборка (эталонное изображение) и исследуемое изображение. На рис. 4 приведено изображение, на котором приведены значения логарифма отношения правдоподобия (12), пропорционально строкам и столбцам пикселей исследуемого изображения.

На рис. 4 видно, что наибольшие значения логарифма отношения правдоподобия располагаются пропорционально тем пикселям исследуемого изображения, на которых находится объект, по которому было проведено обучение.



Рис. 1. Эталонное и исследуемое изображения  
Fig. 1. Reference and test images

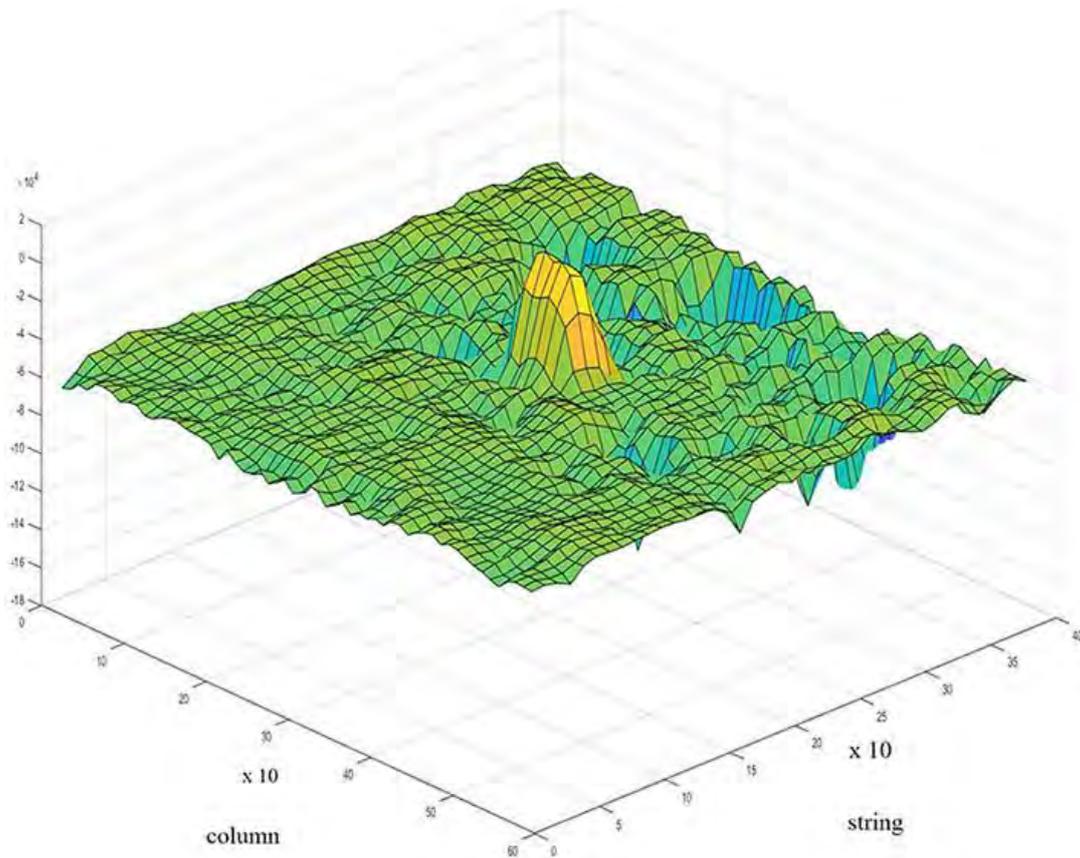


Рис. 2. Значения логарифма отношения правдоподобия  
Fig. 2. Logarithm values of the likelihood ratio

Всего для эксперимента были взяты более ста различных изображений, при этом все экспериментальные исследования показывают, что наибольшие значения логарифма отношения правдоподобия располагаются пропорционально тем пикселям исследуемого изображения, на которых находится объект, по которому было проведено обучение.



Рис. 3. Эталонное и исследуемое изображения  
Fig. 3. Reference and test images

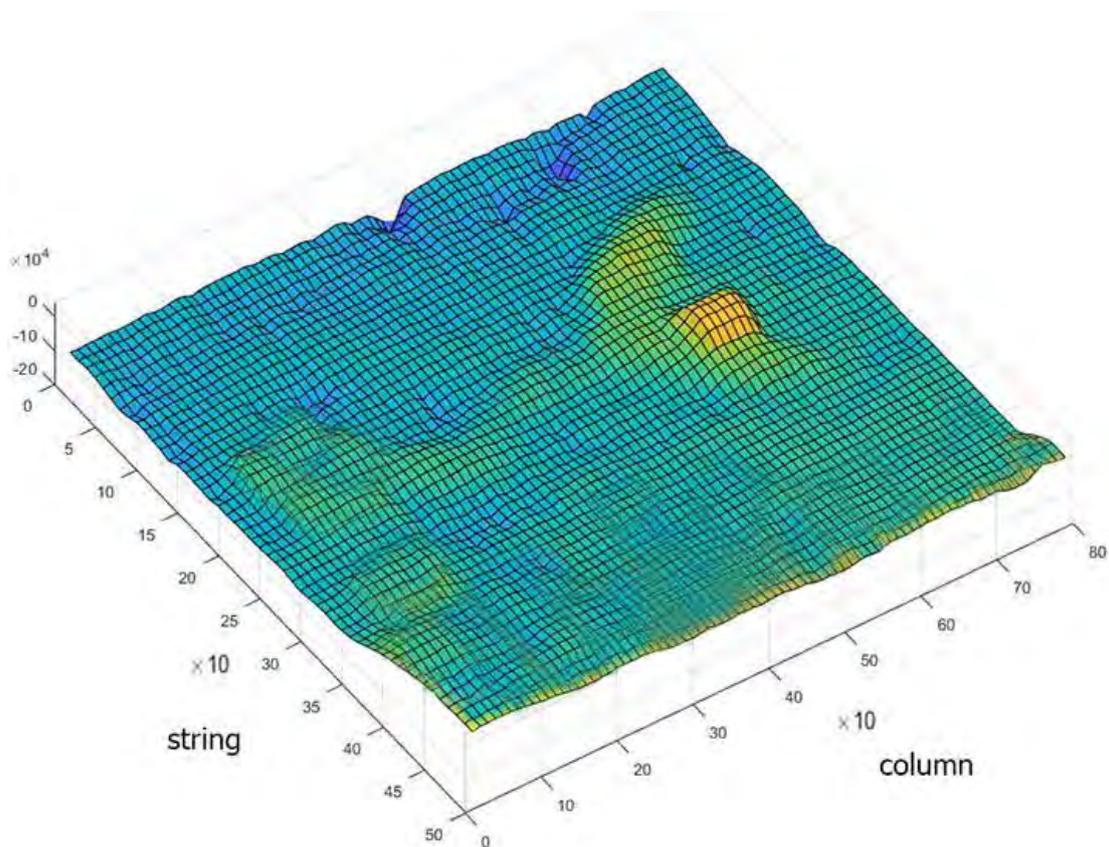


Рис. 4. Значения логарифма отношения правдоподобия  
Fig. 4. Logarithm values of the likelihood ratio

### Заключение

Разработанное решающее правило использует Байесовский подход при статистической проверке гипотез. Решающее правило заключается в вычислении решающей функции и сравнении ее с порогом. При этом экспериментальные данные представляются в виде выборки векторов и описываются многомерными плотностями вероятностей при Гауссовых распределениях [Goloschapova, Kalashnikov, Oleynik, 2020]. В качестве оценок выступают оценки математического ожидания выборок пространственно-субполосных векторов входных данных и их ковариационные матрицы. При проверке гипотезы о наличии на изображении объекта возможно использование критерий Неймана – Пирсона [Zalivin, Oleynik, Pirogenko, 2020]. Для демонстрации работоспособности решающего правила проведены экспериментальные исследования с использованием натуральных данных (видеоизображений). Экспериментальные исследования показали, что разработанное решающее правило позволяет проводить распознавание малоразмерных объектов на видеоизображениях при проведении априорного обучения.

### Выводы

1. Разработанное решающее правило позволяет распознавать различные малоразмерные объекты на видеоизображениях с высокими показателями качества.
2. Разработанный подход к построению решающего правила позволяет использовать оптимальные решения и использовать критерий Неймана – Пирсона для задания уровня порога.
3. Экспериментальные исследования с использованием натуральных данных подтверждают возможности разработанного решающего правила по распознаванию малоразмерных объектов на видеоизображениях.

### Список литературы

- Васин Ю.Г., Лебедев Л.И. 2007. Распознавание объектов составных изображений на основе структурных и корреляционно-экстремальных методов. Сборник докладов 13-й Всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов» (MMRO-13), Зеленогорск, 148: 285–288.
- Гиренко А.В., Ляшенко В.В., Машталир В.П., Путятин Е.П. 1996. Методы корреляционного обнаружения объектов. Харьков, АО «Бизнесинформ»: 112.
- Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. 1986. Статистическая теория распознавания образов. Москва, Радио и связь: 264.
- Фурман Я.А. 2004. Введение в контурный анализ и его применение к обработке изображений и сигналов, ФИЗМАТЛИТ: 456.
- Burdanova E.V., Zhilyakov E.G., Mamatov A.V., Nemtsev A.N., Oleynik I.I. 2019. Decisive rule experimental studies to detect objects on the background of the earth surface using polarization differences of radar signals. COMPUSOFT. An International Journal of Advanced Computer Technology, 8(6): 3166–3170.
- Goloschapova V.A., Kalashnikov P.A., Oleynik I.I. 2020. Parametric decision rules for object recognition in multi-dimensional vector representation of color images. Science, Education, Practice: materials of the International University Science Forum (Canada, Toronto), May 27: 238–246.
- Zalivin A.N., Oleynik I.I., Pirogenko Y.A. 2020. Decision rule for recognizing small objects based on subband processing of radar signals. Science, Education, Practice: materials of the International University Science Forum (Canada, Toronto), April 22: 197–207.
- Zhilyakov E.G. 2015. Optimal subband methods for analyzing and synthesizing signals of finite duration. Automation and Telemechanics, 4: 51–66.
- Zhilyakov E.G., Belov S.P., Oleinik I.I., Babarinov S.L., Trubitsyna D.I. 2020. Generalized sub band analysis and signal synthesis. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 1(9): 78–86.
- Zhilyakov E.G., Belov S.P., Oleinik I.I., Prokhorenko E.I. 2019. Regularization of Inverse Signal Recovery Problems, HELIX the Scientific Explorer, 9 (2): 4883–4889.

### References

- Vasin Yu.G., Lebedev L.I. 2007. Recognition of composite image objects based on structural and correlation-extreme methods. Collection of reports of the 13th All-Russian Conference "Mathematical Methods of Pattern Recognition" (MMRO-13), Zelenogorsk, 148: 285–288.



- Girenko A.V., Lyashenko V.V., Mashtalir V.P., Putyatin E.P. 1996. Methods of correlation detection of objects. Kharkiv, JSC "Businessinform": 112.
- Fomin Ya.A., Tarlovsky G.R. 1986. Statistical theory of pattern recognition. Moscow, Radio and Communication: 264.
- Furman Ya.A. 2004. Introduction to contour analysis and its application to image and signal processing, FIZMATLIT: 456.
- Burdanova E.V., Zhilyakov E.G., Mamatov A.V., Nemtsev A.N., Oleynik I.I. 2019. Decisive rule experimental studies to detect objects on the background of the earth surface using polarization differences of radar signals. COMPUSOFT. An International Journal of Advanced Computer Technology, 8(6): 3166–3170.
- Goloschapova V.A., Kalashnikov P.A., Oleynik I.I. 2020. Parametric decision rules for object recognition in multi-dimensional vector representation of color images. Science, Education, Practice: materials of the International University Science Forum (Canada, Toronto), May 27: 238–246.
- Zalivin A.N., Oleynik I.I., Pirogenko Y.A. 2020. Decision rule for recognizing small objects based on subband processing of radar signals. Science, Education, Practice: materials of the International University Science Forum (Canada, Toronto), April 22: 197–207.
- Zhilyakov E.G. 2015. Optimal subband methods for analyzing and synthesizing signals of finite duration. Automation and Telemekhanics, 4: 51–66.
- Zhilyakov E.G., Belov S.P., Oleinik I.I., Babarinov S.L., Trubitsyna D.I. 2020. Generalized sub band analysis and signal synthesis. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 1(9): 78–86.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Голощাপова Вера Анатольевна**, старший преподаватель кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Vera A. Goloschapova**, Senior Lecturer of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

**Заливин Александр Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Alexander N. Zalivin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Маматов Евгений Михайлович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Evgeniy M. Mamatov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technology, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

**Олейник Иван Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Ivan I. Oleynik**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia