

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

# ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

SCIENTIFIC JOURNAL

# ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES

2022. Том 49, № 3



# ЭКОНОМИКА. ИНФОРМАТИКА

## 2022. Том 49, № 3

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 Ю.В. Ивахненко. Корректурa, компьютерная верстка и оригинал-макет Ю.В. Ивахненко. Гарнитура Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Уч.-изд. л. 21,0. Дата выхода 30.09.2022. Оригинал-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

## СОДЕРЖАНИЕ

### РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

- 445 **Антонова М.В.**  
Влияние демографических факторов на финансово-экономические результаты региона (на примере Белгородской области)
- 456 **Оборин М.С.**  
Стратегические направления пространственного развития Арктических территорий

### ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

- 467 **Бегма Ю.С., Зенкина Е.В.**  
Гуманитарная деятельность как фактор изменения характера экономических взаимоотношений
- 474 **Григорьев Е.А., Варакса А.М.**  
Новый технологический уклад и российская экономика
- 483 **Кулик А.М., Герасимова Н.А., Когтева А.Н.**  
Исследование зарубежных методических подходов к оценке человеческого капитала

### ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

- 494 **Краснова Т.А.**  
Разработка направлений развития тарифного регулирования естественных монополий
- 507 **Ладиков Я.С., Камышанченко Е.Н.**  
Влияние референдума Брексит на миграцию из Евросоюза в Великобританию (на примере польских мигрантов)
- 515 **Лян Тин**  
Модель многофакторного анализа конкурентоспособности корпоративных структур
- 529 **Somina I.V., Kondakov M.V.**  
Analysis of the Usage of Principles of Circular Economy in the Industry of Thermal Insulation Materials (Using the Example of "Rockwool Group")

### ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ

- 536 **Ваганова О.В., Сидибе Махамату, Прядко Е.А.**  
Исследование и анализ цифровых валют центральных банков (CBDC)

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 546 **Ганичева А.В., Ганичев А.В.**  
Оценивание числа слагаемых суммы независимых случайных величин при моделировании гауссовских случайных величин

### СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

- 558 **Иванов С.А.**  
Разработка структуры системы поддержки принятия решений при управлении лесохозяйственным комплексом
- 566 **Афанасьев А.А., Кудинов В.А.**  
Использование онтологического подхода для извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ
- 575 **Шеломенцева И.Г.**  
Классификация микроскопических изображений мокроты с использованием вероятностных байесовских нейронных сетей
- 582 **Жабин В.Е.**  
Разработка нейросетевых алгоритмов прогнозирования конъюнктуры продовольственного рынка

### ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- 589 **Белов С.П., Белов А.С., Прохоренко Е.И., Балабанова Т.Н.**  
Субполосная идентификация словных фрагментов речевых сигналов по заданному образцу
- 597 **Орищук С.Г., Олейник И.И., Прохоренко Е.И., Головки М.В.**  
Обнаружение сигналов на фоне шумов в сверхширокополосных радиолокационных системах при субполосной обработке информации
- 607 **Жиляков Е.Г., Коськин А.В., Лубков И.И., Черноморец А.А.**  
Субполосная аппроксимация изображений при сжатии объемов битовых представлений
- 616 **Шабиб А.Х.Т., Лихошерстов Р.В., Польщиков К.А.**  
Модели прогнозирования среднего расстояния между узлами летающей беспроводной самоорганизующейся сети
- 630 **Алейников С.А., Гофман О.О., Басов О.О.**  
Информационная модель невербальных сигналов акустического и визуального каналов коммуникации, учитывающая индивидуально-психологические особенности профилируемой личности

**ECONOMICS. INFORMATION TECHNOLOGIES****2022. Volume 49, No. 3**

*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. Stryapkova*, 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 № ФЦ 77-77834 dd 31.01.2020.

Publication frequency: 4 /year

Commissioning Editor YU.V. Ivakhnenko. Pag Proofreading, computer imposition, page layout by YU.V. Ivakhnenko. Typeface Times New Roman, Arial Narrow, Arial. Publisher's signature 21,0. Date of publishing 30.09.2022. 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

- 445 **Antonova M.V.**  
The Influence of Demographic Factors on the Financial and Economic Results of the Region (on the Example of the Belgorod Region)
- 456 **Oborin M.S.**  
Strategic Directions of Spatial Development of the Arctic Territories

### INVESTMENT AND INNOVATIONS

- 467 **Begma Y.S., Zenkina E.V.**  
Humanitarian Action as a Factor in Changing the Nature of Economic Relations
- 474 **Grigoriev E.A., Varaksa A.A.**  
The New Technological Order and the Russian Economy
- 483 **Kulik A.M., Gerasimova N.A., Kogteva A.N.**  
Research of Foreign Methodological Approaches to the Assessment of Human Capital

### SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

- 494 **Krasnova T.A.**  
Development of Directions for the Development of Tariff Pricing of Natural Monopolies
- 507 **Ladikov Y.S., Kamyshanchenko E.N.**  
The Impact of the Brexit Referendum on Migration from the European Union to the UK (on the Example of Polish Migrants)
- 515 **Liang Ting**  
Model of Multivariate Analysis of the Competitiveness of Corporate Structures
- 529 **Somina I.V., Kondakov M.V.**  
Analysis of the Usage of Principles of Circular Economy in the Industry of Thermal Insulation Materials (Using the Example of "Rock-wool Group")

### PUBLIC AND BUSINESS FINANCE

- 536 **Vaganova O.V., Sidibe Mahamadu, Pryadko E.A.**  
Research and Analysis of Digital Currencies of the Central Banks (CBDC)

### COMPUTER SIMULATION HISTORY

- 546 **Ganicheva A.V., Ganichev A.V.**  
Estimating the Number of Terms in the Sum of Independent Random Variables when Modeling Gaussian Random Variables

### SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

- 558 **Ivanov S.A.**  
Development of the Structure of a Decision Support System in the Management of the Forestry Complex
- 566 **Afanasiev A.A., Kudinov V.A.**  
Using an Ontological Approach to Extract Expectations about the Data Quality of Enterprise Data Warehouses
- 575 **Shelomentseva I.G.**  
Classification of Microscopy Sputum Image Using Probabilistic Bayesian Neural Network
- 582 **Zhabin V.E.**  
Development of Neural Network Algorithms for Food Market Forecasting

### INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

- 589 **Belov S.P., Belov A.S., Prokhorenko E.I., Balabanova T.N.**  
Subband Identification of Word Fragments of Speech Signal Word Segments Precedent
- 597 **Orishchuk S.G., Oleynik I.I., Prokhorenko E.I., Golovko M.V.**  
Detection of Signals Against Noise in Ultra-Wideband Radar Systems with Subband Processing Information
- 607 **Zhilyakov E.G., Koskin A.V., Lubkov I.I., Chernomorets A.A.**  
Images Subband Approximation in the Task of Bit Representations Volumes Compression
- 616 **Shabeeb A.H.T., Likhosherstov R.V., Polshchikov K.A.**  
Prediction Models of the Average Distance Between Nodes of a Flying Ad Hoc Network
- 630 **Aleinikov S.A., Hoffman O.O., Basov O.O.**  
Information Model of Non-Verbal Signals of Acoustic and Visual Communication Channels, Taking into Account the Individual Psychological Characteristics of the Profiled Personality

# РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

УДК 332.13

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-445-455

## Влияние демографических факторов на финансово-экономические результаты региона (на примере Белгородской области)

**Антонова М.В.**

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

**Аннотация.** Данная статья посвящена изучению влияния демографического фактора на финансово-экономические результаты функционирования региона. Несмотря на достаточное внимание в научном сообществе к изучению демографического фактора, довольно слабо проработана оценка влияния географического, гендерного и возрастного критериев на финансово-экономические результаты функционирования региона. В рамках данной статьи результаты экономики региона разделены на три уровня, образовавших «пирамиду финансово-экономических результатов региона». Целью исследования является исследование влияния географического, гендерного и возрастного критериев демографического фактора на финансово-экономические результаты региона. Для исследования использовались статистические методы: ряды динамики, метод корреляционного анализа и другие. Исследование проведено по данным Белгородской области за 2011–2020 годы. В результате исследования выявлено, что географический и гендерный критерии не оказывают влияния на показатели «пирамиды финансово-экономических результатов региона», однако между возрастным критерием демографического фактора и результирующими показателями выявлена сильная корреляционная взаимосвязь, которая уменьшается по мере повышения уровня «пирамиды финансово-экономических результатов региона».

**Ключевые слова:** валовый региональный продукт, сальдированный финансовый результат, рентабельность активов, корреляционный анализ, географический критерий, гендерный критерий, возрастной критерий

**Для цитирования:** Антонова М.В. 2022. Влияние демографических факторов на финансово-экономические результаты региона (на примере Белгородской области). Экономика. Информатика, 49(3): 445–455. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-445-455

## The Influence of Demographic Factors on the Financial and Economic Results of the Region (on the Example of the Belgorod Region)

**Marina V. Antonova**

Belgorod University of Cooperation, Economics and Law  
116A Sadovaya St, Belgorod, 308023, Russia

**Abstract.** This article is devoted to the study of the influence of the demographic factor on the financial and economic performance of the region. Despite sufficient attention in the scientific community to the study of the demographic factor, the assessment of geographical, gender and age criteria on the financial and economic results



of the region's activities is rather poorly developed. Within the framework of this article, the results of the region's economy are divided into three levels, forming a «pyramid of financial and economic results of the region's activities». The aim of the study is to study the influence of geographical, gender and age criteria of the demographic factor on the financial and economic performance of the region. Statistical methods were used for the study: series of dynamics, the method of correlation analysis and others. The study was conducted according to the data of the Belgorod region for 2011-2020. As a result of the study, it was revealed that geographical and gender criteria do not affect the indicators of the «pyramid of financial and economic results of the region's activities», however, a strong correlation was revealed between the age criterion of the demographic factor and the resulting indicators, which decreases as the level of the «pyramid of financial and economic results of the region's activities» increases.

**Keywords:** gross regional product, net financial result, return on assets, correlation analysis, geographical criterion, gender criterion, age criterion

**For citation:** Antonova M.V. 2022. The Influence of Demographic Factors on the Financial and Economic Results of the Region (on the Example of the Belgorod Region). Economics. Information technologies, 49(3): 445–455 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-445-455

## Введение

На финансово-экономические результаты региона оказывают влияние различные факторы, изучение которых имеет огромное значение для повышения эффективности функционирования региональной экономической системы.

Проблематике развития экономики региона посвящены научные труды ряда авторов [Владыка, Чистникова, Ермаченко, 2020; Игольникова, Аксенов, 2018; Побирченко, 2017; Усанов, Высоцкая, 2019; Чистникова, Михайличенко, 2021; Чистникова, Шипицын, Дружникова, 2022; Чувилова, Рыбина, Агибайлова, 2011].

Изучению факторов, оказывающих влияние на эффективное развитие региона, посвящено достаточное количество научных работ. Так, Головин В.А. [Головин, 2019] выделяет следующие факторы: человеческий, технико-технологический, природно-ресурсный, институциональный, организационный и информационный. Идигова Л.М. [Идигова, 2020] факторы развития региона группирует на экономические, социальные (включающие в себя демографию), технологические, состояние бизнес-среды. При всем разнообразии подходов к выделению и группировке исследуемых факторов, все авторы сходятся во мнении, что демографический фактор оказывает влияние на результаты региона.

Исследованию демографических факторов посвящены труды таких авторов, как Абдулманапов П.Г. [Абдулманапов, 2020], Пухова А.Г. [Пухова, 2019], Рыбкина М.В. [Рыбкина, 2020], Фаузер В.В. [Фаузер, 2007], Ярашева А.В. [Ярашева, 2019; Ярашева, Симагин, 2021]. В исследованиях Вихоревой М.В., Яковлевой Н.В. [Вихорева, Яковлева, 2020], Капогузова Е.А. [Капогузов, 2019], Костиной О.И., Елистратовой Е.Ю. [Костина, Елистратова, 2020], Мельниковой М.А. [Мельникова, 2021] демографический аспект изучается в контексте влияния на экономическую безопасность региона.

Однако в научных работах не уделено достаточного внимания исследованию взаимосвязи демографических факторов, учитывающих географический, гендерный и возрастной критерии. Кроме того, исследование факторов зачастую основывается на одном результативном показателе, чаще всего отражающем общий объем выпускаемой в регионе продукции. В данном исследовании предложена попытка учета демографических факторов и их влияние на несколько результативных показателей, отражающих финансово-экономическое развитие региона.

Данная проблематика позволила сформулировать цель исследования, которая заключается в изучении влияния географического, гендерного и возрастного критериев демографического фактора на финансово-экономические результаты региона.



### Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются финансово-экономические результаты функционирования региона. Материалами для исследования послужили данные Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Белгородской области. Период исследования: 2011–2020 годы. Исследование проводилось с использованием статистических методов: рядов динамики, графического метода, метода корреляции.

### Результаты и их обсуждение

Для оценки финансово-экономических результатов региона в научной литературе предлагаются различные показатели. По нашему мнению, совокупность данных показателей целесообразно разделить на три уровня, характеризующих финансово-экономические результаты региона. Для исследования каждого уровня можно использовать разнообразные параметры и критерии оценки. В рамках данной статьи нами выбраны три основных показателя, которые будем принимать как результаты финансово-хозяйственной деятельности региона, отражающие три уровня «пирамиды финансово-экономических результатов региона» (рис. 1). Следует отметить, что каждый уровень представленной «пирамиды» может быть дополнен различными как абсолютными, так и относительными показателями, которые более полно охарактеризуют финансовые и экономические результаты функционирования региональной экономики. Однако в рамках данной статьи для достижения цели исследования нами выбраны по одному показателю на каждый уровень.

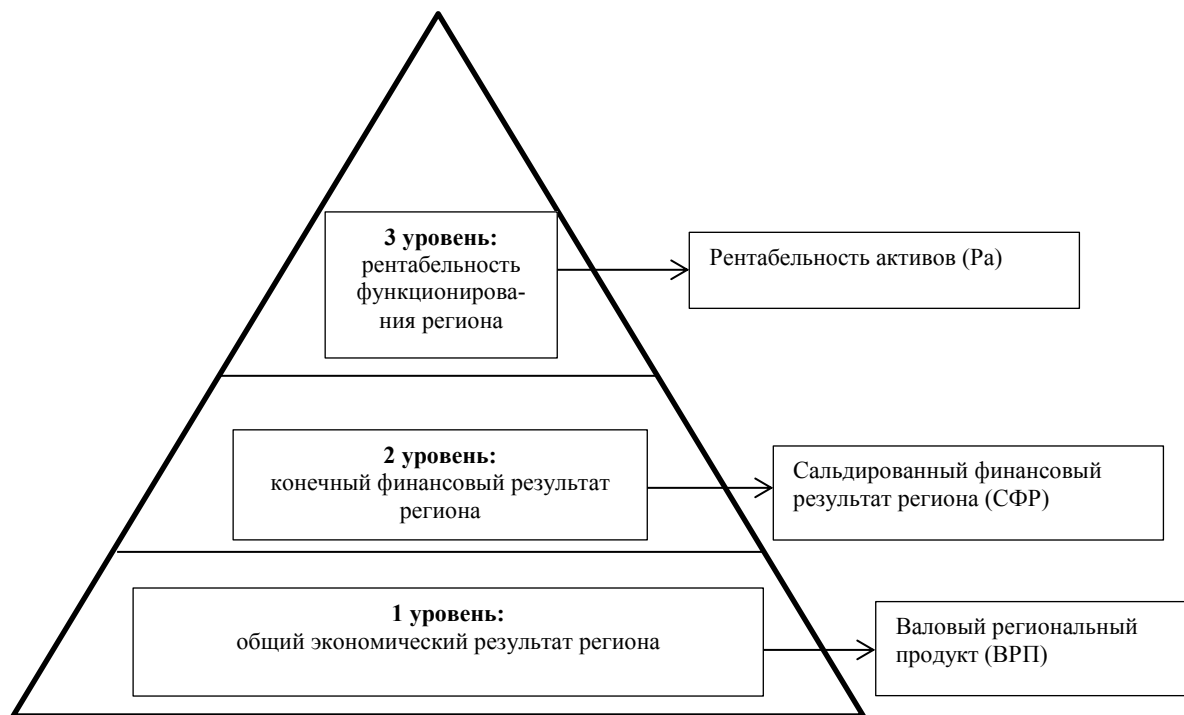


Рис. 1. Пирамида финансово-экономических результатов региона (составлено автором)  
 Fig. 1. Pyramid of financial and economic results of the region (compiled by the author)

Динамика выбранных показателей «пирамиды финансово-экономических результатов Белгородской области» представлена в таблице 1.

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что в исследуемом периоде наблюдается рост ВРП: данный показатель возрос на 96,8 % в исследуемом периоде и достиг в 2020 году 999,1 млрд руб. Совокупный финансовый результат организаций Белгородской области в 2011–2020 гг. увеличился в 2,8 раза. Однако в его динамике наблюдается снижение: так, в 2012, 2013 и 2017 годах цепные темпы роста СФР составляли 86,4 %, 75,4 % и 64,1 % соот-





ветственно; существенное сокращение финансового результата наблюдается в 2015 году – данный показатель снизился по сравнению с предыдущим годом почти в 3 раза. Динамика СФР нашла свое отражение в изменении рентабельности активов предприятий Белгородской области.

Таблица 1  
 Table 1

Динамика показателей, характеризующих финансово-экономические результаты  
 Белгородской области в 2011–2020 гг.\*  
 Dynamics of indicators characterizing the financial and economic results  
 of the Belgorod region in 2011–2020

Показатели	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1 уровень										
ВРП, млрд руб.	507,8	545,5	569,4	619,7	693,4	778,0	837,3	911,6	955,9	999,1
Цепной темп роста, %	-	107,4	104,4	108,8	111,9	112,2	107,6	108,9	104,9	104,5
Базисный темп роста, %	-	107,4	112,1	122,0	136,5	153,2	164,9	179,5	188,2	196,8
2 уровень										
СФР, млрд руб.	130,6	112,8	85,1	178,3	57,6	216,1	138,5	206,1	208,5	361,3
Цепной темп роста, %	-	86,4	75,4	в 2 раза	32,3	в 3,7 раз	64,1	148,8	101,2	173,3
Базисный темп роста, %	-	86,4	65,2	136,5	44,1	165,5	106,0	157,8	159,6	в 2,8 раз
3 уровень										
Ра, %	15,9	11,9	8,2	13,9	4,3	16,8	10,5	14,7	14,9	24,2
Цепной темп роста, %	-	74,8	68,9	169,5	30,9	в 3,9 раз	64,1	140,0	101,4	162,4
Базисный темп роста, %	-	74,8	51,6	87,4	27,0	165,5	106,0	92,5	93,7	152,2

\*Составлено по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Белгородской области

Данное исследование направлено на оценку влияния демографических показателей на финансово-экономические результаты региона. По нашему мнению, для изучения выбранных факторов целесообразно изучать динамику численности населения по следующим критериям:

- географическому;
- гендерному;
- возрастному.

Исследуем динамику численности населения Белгородской области в 2011–2020 годах по географическому критерию (табл. 2).

В исследуемом периоде наблюдается незначительный цепной прирост населения Белгородской области. Снижение численности выявлено только в 2018 и 2019 годах. Увеличение населения области связано с ростом жителей городов, тогда как население сельское из года в год сокращается и составляет в 2020 году 503,6 тыс., тогда как в 2011 году насчитывалось 518,5 тыс. сельских жителей региона.

Доля городского населения в 2011–2020 гг. увеличивается с 66,2 % до 67,49 %. Для изучения географического фактора нами используется коэффициент соотношения городского и сельского населения региона. Следует отметить, что в исследуемом периоде он имел только два значения: в 2011–2016 годах городское население в 2 раза превышало сельское, а в 2017–2020 годах данный коэффициент увеличился до 2,1.

Используя графический метод статистического изучения корреляционной взаимосвязи, исследуем влияние географического критерия демографического фактора (коэффициент

соотношения городского и сельского населения) на финансово-экономические результаты Белгородской области: ВРП (рис. 2а), СФР (рис. 2б) и Ра (рис. 2в).

Таблица 2  
Table 2

Динамика численности населения Белгородской области в 2011–2020 гг.  
по географическому критерию\*

Dynamics of the population of the Belgorod region in 2011–2020 by geographical criterion

Показатели	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Исходные показатели, тыс. человек										
Численность населения – всего	1532,4	1536,1	1541,0	1544,1	1547,9	1550,1	1552,9	1549,9	1547,4	1549,1
Цепной темп роста, %	-	100,2	100,3	100,2	100,2	100,1	100,2	99,8	99,8	100,1
в том числе										
городское	1013,9	1020,4	1026,5	1031,4	1036,2	1039,6	1045,0	1044,5	1043,8	1045,5
Цепной темп роста, %	-	100,6	100,6	100,5	100,5	100,3	100,5	100,0	99,9	100,2
сельское	518,5	515,7	514,5	512,7	511,7	510,5	507,9	505,4	503,6	503,6
Цепной темп роста, %	-	99,5	99,8	99,7	99,8	99,8	99,5	99,5	99,6	100,0
Расчетные показатели, %										
Доля городского населения	66,2	66,4	66,6	66,8	66,9	67,1	67,3	67,39	67,46	67,49
Доля сельского населения	33,8	33,6	33,4	33,2	33,1	32,9	32,7	32,61	32,54	32,51
Коэффициент соотношения городского и сельского населения	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1

\*Составлено по данным территориального органа федеральной службы государственной статистики по Белгородской области

Графическое изображение корреляции, отраженное на рисунке 2, свидетельствует о том, что зависимость между географическим признаком демографического фактора и основными показателями пирамиды финансово-экономических результатов Белгородской области отсутствует. Следует отметить, что связи не прослеживается ни на одном из трех уровней предлагаемой пирамиды. Таким образом, соотношение городского и сельского населения в области не оказывает существенного влияния на исследуемый результат.

Показатели, характеризующие гендерный критерий численности Белгородской области в 2011–2020 гг., отражены в таблице 3.

В исследуемом периоде наблюдается увеличение численности как мужского, так и женского населения Белгородской области. В целом за 10 лет численность мужчин области увеличилась на 10,9 тыс. человек (на 1,55 %), численность женщин возросла на 5,8 тыс. человек (на 0,7 %). Данная динамика нашла свое отражение в изменении доли мужчин в совокупной численности Белгородской области, данный показатель увеличился с 46,0 % в 2011 году до 46,23 % в 2020 году. Данное изменение незначительное и не отразилось на коэффициенте соотношения мужчин и женщин в регионе, исследуемый показатель не изменялся в 2011–2020 годах и составлял 0,9.

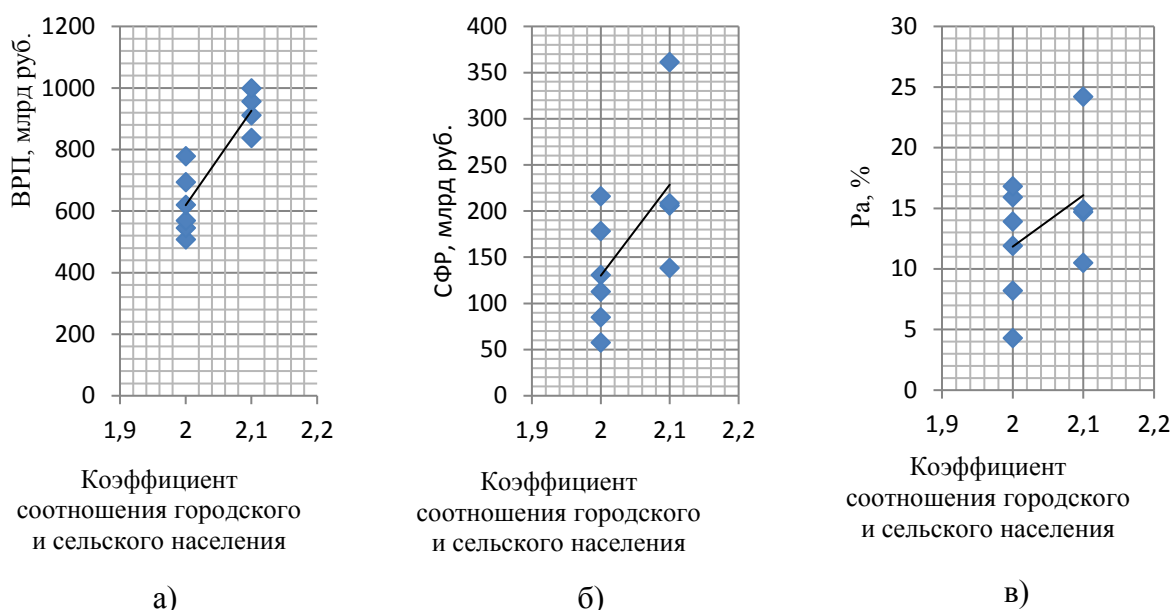


Рис. 2. График корреляционной зависимости между географическим критерием демографического фактора и основными показателями пирамиды финансово-экономических результатов Белгородской области (составлено автором)

Fig. 2. The graph of the correlation between the geographical criterion of the demographic factor and the main indicators of the pyramid of financial and economic results of the Belgorod region (compiled by the author)

Таблица 3  
Table 3

Динамика численности населения Белгородской области в 2011–2020 гг. по гендерному критерию\*  
 Dynamics of the population of the Belgorod region in 2011–2020 by gender criterion

Показатели	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Исходные показатели, тыс. человек										
Численность мужчин	705,3	707,2	709,4	711,2	713,1	714,1	715,9	714,9	714,3	716,2
Цепной темп роста, %		100,3	100,3	100,3	100,3	100,1	100,3	99,9	99,9	100,3
Численность женщин	827,1	828,9	831,6	832,9	834,8	836,0	836,9	835,0	833,1	832,9
Цепной темп роста, %		100,2	100,3	100,2	100,2	100,1	100,1	99,8	99,8	100,0
Расчетные показатели, %										
Доля мужчин в совокупной численности	46,0	46,0	46,0	46,1	46,1	46,1	46,1	46,1	46,2	46,23
Доля женщин в совокупной численности	54,0	54,0	54,0	53,9	53,9	53,9	53,9	53,9	53,8	53,77
Коэффициент соотношения мужчин и женщин	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

\*Составлено по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Белгородской области

Графическое отображение корреляционной взаимосвязи между гендерным критерием демографического фактора и финансово-экономическими результатами Белгородской области отражено на рисунках 3а, 3б, 3в.

Данные рисунка 3 наглядно свидетельствуют о том, что гендерный признак не оказывает влияния на финансово-экономические результаты Белгородской области.

Далее исследуем динамику численности населения Белгородской области в 2011–2020 годах по возрастному критерию (табл. 4).

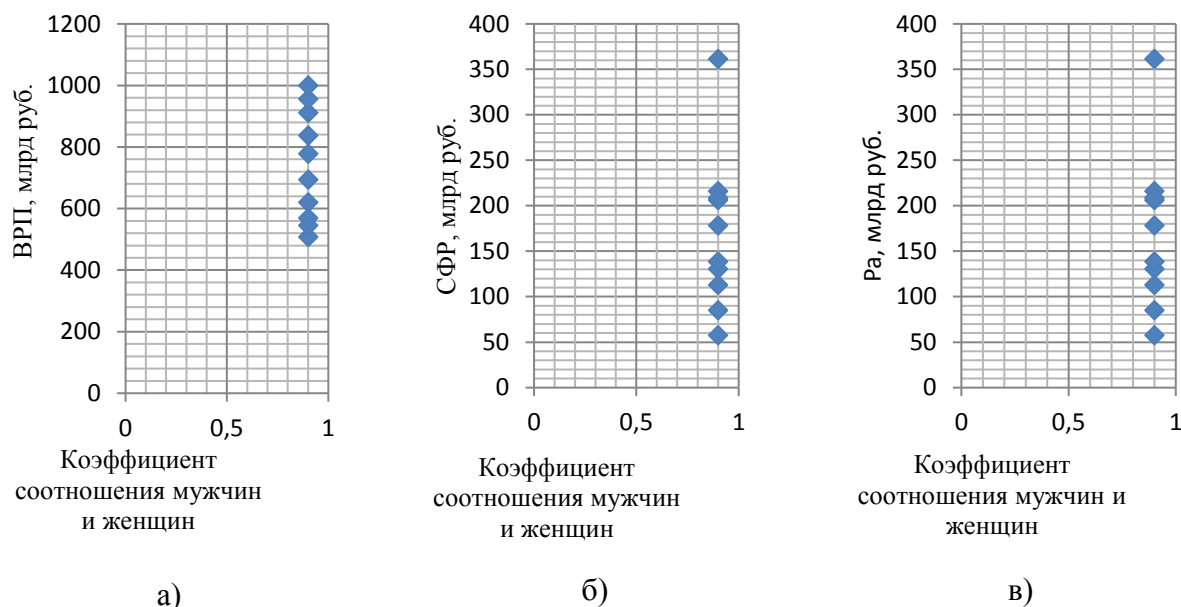


Рис. 3. График корреляционной зависимости между гендерным критерием демографического фактора и основными показателями пирамиды финансово-экономических результатов Белгородской области (составлено автором)

Fig. 3. The graph of correlation between the gender criterion of the demographic factor and the main indicators of the pyramid of financial and economic results of the Belgorod region (compiled by the author)

Таблица 4  
Table 4

Динамика численности населения Белгородской области в 2011–2020 гг. по возрастному критерию\*  
 Dynamics of the population of the Belgorod region in 2011–2020 by age criterion

Показатели	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Исходные показатели численности населения, тыс. человек										
Моложе трудоспособного возраста	230,7	232,8	237,0	242,5	247,7	253,8	258,5	262,1	261,8	260,1
Цепной темп роста, %	-	100,9	101,8	102,3	102,1	102,5	101,9	101,4	99,9	99,4
Трудоспособного возраста	932,7	926,6	918,7	907,7	896,5	882,9	872,4	848,8	866,2	857,4
Цепной темп роста, %	-	99,3	99,1	98,8	98,8	98,5	98,8	97,3	102,0	99,0
Старше трудоспособного возраста	369,0	376,7	385,3	393,9	403,7	413,4	422,0	436,5	421,1	423,8
Цепной темп роста, %	-	102,1	102,3	102,2	102,5	102,4	102,1	103,4	96,5	100,6

Окончание табл. 4

Показатели	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Расчетные показатели, %										
Доля населения моложе трудоспособного возраста	15,1	15,2	15,4	15,7	16,0	16,4	16,6	16,9	16,9	16,8
Доля населения трудоспособного возраста	60,9	60,3	59,6	58,8	57,9	57,0	56,2	54,8	56,0	55,3
Доля населения старше трудоспособного возраста	24,1	24,5	25,0	25,5	26,1	26,7	27,2	28,2	27,2	27,4
Коэффициент демографической нагрузки	0,64	0,66	0,68	0,70	0,73	0,76	0,78	0,82	0,79	0,80

\*Составлено по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Белгородской области

Данные таблицы 4 позволяют сделать вывод о том, что численность населения Белгородской области моложе трудоспособного возраста за 2011–2022 гг. увеличилась на 29,4 тыс. человек (на 12,74 %), численность населения трудоспособного возраста, напротив, уменьшилась на 75,3 тыс. человек (или на 8,07 %), в свою очередь численность населения старше трудоспособного возраста в исследуемом периоде возросла на 54,8 тыс. человек (или на 14,85 %). Динамика снижения численности трудоспособного населения при одновременном росте жителей нетрудоспособного возраста нашла свое отражение в динамике коэффициента демографической нагрузки. Если в 2011 году на 100 человек трудоспособного возраста приходилось 64 человека нетрудоспособного возраста, то в 2020 году демографическая нагрузка увеличилась до 80 человек нетрудоспособного возраста на 100 жителей трудоспособного возраста. Следует отметить, что коэффициент демографической нагрузки имеет четкую тенденцию роста, что является негативным фактором для социально-экономического положения региона.

Корреляционная зависимость между возрастным критерием демографического фактора и финансово-экономическими результатами Белгородской области представлена на рис. 4а, 4б, 4в.

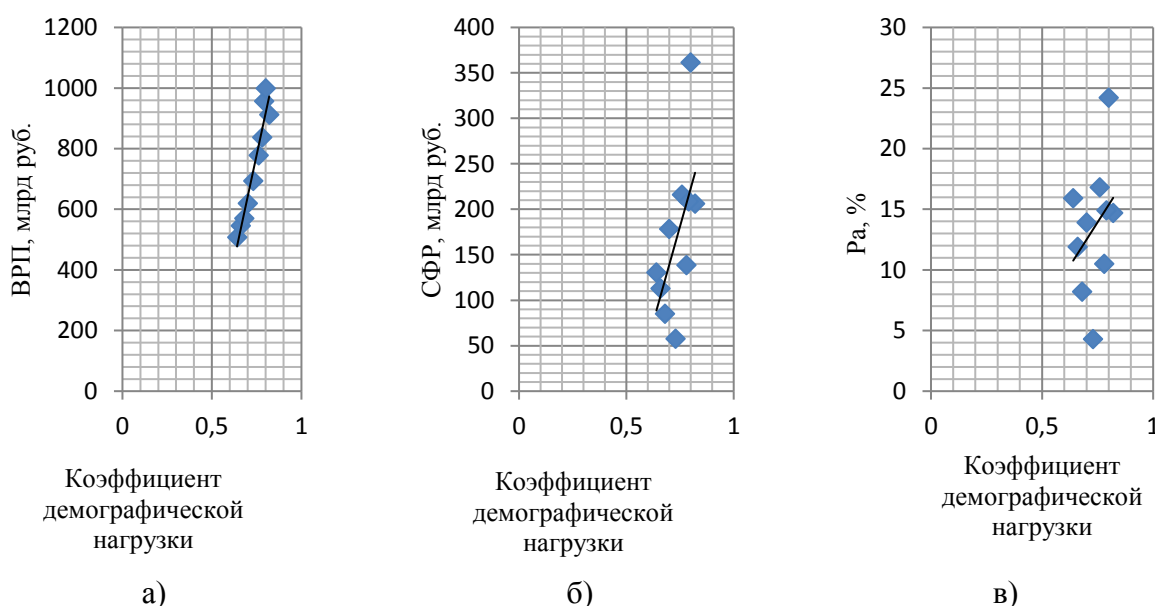


Рис. 4. График корреляционной зависимости между возрастным критерием демографического фактора и основными показателями пирамиды финансово-экономических результатов Белгородской области (составлено автором)

Fig. 4. The graph of the correlation between the age criterion of the demographic factor and the main indicators of the pyramid of financial and economic results of the Belgorod region (compiled by the author)

Данные рисунка 4 наглядно свидетельствуют о наличии связи между исследуемым фактором и результатом, однако по мере повышения уровня «пирамиды финансово-экономических результатов региона» данная связь слабеет. Таким образом, можно утверждать, что от демографической нагрузки трудоспособного населения Белгородской области очень сильно зависит общий экономический результат функционирования региона (валовый региональный продукт). Однако на конечный финансовый результат Белгородской области (сальдированный финансовый результат региона) влияние возрастного критерия демографической нагрузки ослабевает, еще меньше корреляционная связь исследуемого фактора проявляется на уровне рентабельности региона. Следовательно, на втором и третьем уровне «пирамиды финансово-экономических результатов региона» помимо демографического фактора существенное влияние оказывают другие, не исследуемые в данной статье факторы.

### Заключение

В результате проведенного исследования нами достигнута цель работы – изучено влияние демографического фактора на финансово-экономические результаты функционирования региона. В работе предложена авторская «пирамида финансово-экономических результатов региона», состоящая из трех уровней. Показатели данной пирамиды применялись как результаты при выявлении корреляционной взаимосвязи с выбранными факторами. Влияние демографического фактора изучалось по трем критериям: географическому (корреляционной связи не выявлено), гендерному (корреляционная связь отсутствует) и возрастному (выявлена сильная корреляционная связь). Кроме того, в исследовании выявлено, что возрастным критерий демографического фактора оказывает разное влияние на уровни «пирамиды финансово-экономических результатов региона»: очень сильное на первом уровне пирамиды, далее связь между исследуемым фактором и результатами ослабевает, однако присутствует.

Проведенное исследование, по нашему мнению, имеет практическую значимость и может быть использовано при дальнейшем изучении факторов регионального развития. Кроме того, выявленное отсутствие взаимосвязи между географическим и гендерными критериями демографического фактора найдет свое отражение в моделировании валового регионального продукта.

### Список источников

Статистический ежегодник Белгородская область. 2021: Стат. сб./ Белгородстат. – Белгород, 2021. – 508 с.

### Список литературы

- Абдулманапов П.Г. 2020. Влияние социально-экономических изменений на демографические процессы в регионах СКФО. Региональные проблемы преобразования экономики, 4: 52–62.
- Вихорева М.В., Яковлева Н.В. 2020. Демографический аспект экономической безопасности региона. Известия Байкальского государственного университета, 1: 30–39.
- Владыка М.В., Чистникова И.В., Ермаченко Ф.М. 2020. Межрегиональная интеграция в пространстве макрорегиона как фактор развития национальной экономики. Научный результат. Экономические исследования, 4: 33–43.
- Головин В.А. 2019. Стадии жизненного цикла регионального экономического кластера и факторы его эффективного развития. Вестник Института экономики Российской академии наук, 2: 61–71.
- Игольникова И.В., Аксенов А.А. 2018. Стратегические факторы социально-экономического развития региона. Экономика. Социология, 4: 40–43.
- Идигова Л.М. 2020. Использование факторов регионального экономического развития в процессе накопления инновационного потенциала. Вестник Чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова, 1: 34–43.
- Капогузов Е.А. 2019. Социально-демографические факторы обеспечения региональной экономической безопасности (по материалам Омской области). Russian Journal of Economics and Law, 4: 1605–1619.



- Костина О.И., Елистратова Е.Ю. 2020. Влияние социально-демографических факторов на обеспечение экономической безопасности Калужской области. Калужский экономический вестник, 4: 55–58.
- Мельникова М.А. 2021. Оценка влияния демографических факторов на уровень экономической безопасности региона (на материалах Вологодской области). Экономист года, 2: 74–86.
- Побирченко В.В. 2017. Факторы устойчивого социально-экономического развития региона, синергия взаимодействия. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, 4: 123–126.
- Пухова А.Г. 2019. Влияние демографического фактора на региональный рынок труда. Economic Consultant, 1 (25): 33–39.
- Рыбкина М.В. 2020. Демографическая ситуация и её влияние на воспроизводство трудовых ресурсов в регионе (на примере Ульяновской области). Вестник Ульяновского государственного технического университета, 1 (89): 70–76.
- Усанов И.Г., Высоцкая А.В. 2019. Моделирование валового регионального продукта. Производственные технологии будущего: от создания к внедрению, 1: 317–320.
- Фаузер В.В. 2007. Демографические факторы экономического развития региона. Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета, 3: 81–90.
- Чистникова И.В., Михайличенко М.Ю. 2021. Управление региональным развитием в условиях цифровой экономики. В сборнике: Экономическая безопасность социально-экономических систем: вызовы и возможности. Сборник трудов III Международной научно-практической конференции. Белгород: 102–105.
- Чистникова И.В., Шипицын А.В., Дружникова Е.П. 2022. Применение экономико-математического инструментария к управлению качеством территориальных образований. Финансовый бизнес, 1: 127–130.
- Чувилова О.Н., Рыбина Г.К., Агибайлова Ю.С. 2011. Обзор информационных источников оценки финансово-экономического развития территорий. Региональная экономика: теория и практика, 27: 15–18.
- Ярашева А.В. 2019. Влияние демографических факторов на трудовой потенциал регионов Дальнего Востока. Экономика. Налоги. Право, 12: 103–114.
- Ярашева А.В., Симагин Ю.А. 2021. Пространственное развитие Дальнего Востока России: демографические и социально-экономические факторы. Народонаселение, 24: 117–130.

## References

- Abdulmanapov P.G. 2020. The impact of socio-economic changes on demographic processes in the regions of the North Caucasus Federal District. Regional Problems of Economic Transformation, 4: 52–62 (in Russian).
- Vikhoreva M.V., Yakovleva N.V. 2020. Demographic aspect of the economic security of the region. Izvestia of Baikal State University, 1: 30–39 (in Russian).
- Vladyka M.V., Chistnikova I.V., Ermachenko F.M. 2020. Interregional integration in the space of the macroregion as a factor of the development of the national economy. Research result. Economic research, 4: 33–43 (in Russian).
- Golovin V.A. 2019. Stadii zhiznennogo cikla regional'nogo ekonomicheskogo klastera i faktory ego effektivnogo razvitiya [Stages of the life cycle of a regional economic cluster and factors of its effective development]. Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences, 2: 61–71.
- Igolnikova I.V., Aksenov A.A. 2018. Ispol'zovanie faktorov regional'nogo ekonomicheskogo razvitiya v processe nakopleniya innovacionnogo potentsiala [Strategic factors of socio-economic development of the region]. Economy. Sociology, 4: 40–43.
- Idigova L.M. 2020. Use of factors of regional economic development in the process of accumulation of innovative potential. Bulletin of the Chechen State University named after A.A. Kadyrov, 1: 34–43 (in Russian)
- Kapoguzov E.A. 2019. Socio-demographic factors of ensuring regional economic security (based on the materials of the Omsk region) [Social'no-demograficheskie faktory obespecheniya regional'noj ekonomicheskoy bezopasnosti (po materialam Omskoj oblasti)]. Russian Journal of Economics and Law, 4: 1605–1619.



- Kostina O.I., Elistratova E.Yu. 2020. The influence of socio-demographic factors on the economic security of the Kaluga region. *Kaluga Economic Bulletin*, 4: 55–58 (in Russian).
- Melnikova M.A. 2021. Assessment of the impact of demographic factors on the level of economic security of the region (based on the materials of the Vologda Oblast). *Economist of the Year*, 2: 74–86 (in Russian).
- Pobirchenko V.V. 2017. Faktory ustojchivogo social'no-ekonomicheskogo razvitiya regiona, sinerhiya vzaimodejstviya [Factors of sustainable socio-economic development of the region, synergy of interaction]. *Actual problems of humanities and natural sciences*, 4: 123–126.
- Pukhova A.G. 2019. The influence of the demographic factor on the regional labor market. *Economic Consultant*, 1 (25): 33–39 (in Russian).
- Rybkina M.V. 2020. Demographic situation and its impact on the reproduction of labor resources in the region (on the example of the Ulyanovsk region). *Bulletin of Ulyanovsk State Technical University*, 1 (89): 70–76 (in Russian).
- Usanov I.G., Vysotskaya A.V. 2019. Modeling of the gross regional product. *Production technologies of the Future: from creation to implementation*, 1: 317–320 (in Russian).
- Fauser V.V. 2007. Demograficheskie faktory ekonomicheskogo razvitiya regiona [Demographic factors of economic development of the region]. *Bulletin of the Research Center of Corporate Law, Management and Venture Investment of Syktyvkar State University*, 3: 81–90.
- Chistnikova I.V., Mikhailichenko M.Yu. 2021. Upravlenie regional'nym razvitiem v usloviyah cifrovoj ekonomiki [Managing regional development in the digital economy]. In the collection: *Economic security of socio-economic systems: challenges and opportunities. proceedings of the III International Scientific and Practical Conference*. Belgorod: 102–105.
- Chistnikova I.V., Shipitsyn A.V., Druzhnikova E.P. 2022. Application of economic and mathematical tools to quality management of territorial entities. *Financial Business*, 1:127–130 (in Russian).
- Chuvilova O.N., Rybina G.K., Agibaylova Yu.S. 2011. Obzor informacionnyh istochnikov ocenki finansovo-ekonomicheskogo razvitiya territorij [Review of information sources for assessing the financial and economic development of territories]. *Regional Economics: Theory and Practice*, 27: 15–18.
- Yarasheva A.V. 2019. The influence of demographic factors on the labor potential of the regions of the Far East. *Economy. Taxes. Law*, 12: 103–114 (in Russian).
- Yarasheva A.V., Simagin Yu.A. 2021. Spatial development of the Russian Far East: demographic and socio-economic factors. *Population*, 24: 117–130 (in Russian).

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

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

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

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



УДК 338.24  
DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-456-466

## Стратегические направления пространственного развития Арктических территорий

**Оборин М.С.**

Пермский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова  
Россия, 614070, г. Пермь, б-р Гагарина, 57;

Пермский государственный национальный исследовательский университет  
Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15;

Пермский государственный аграрно-технологический университет им. ак. Д.Н. Прянишникова  
Россия, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 23;

Сочинский государственный университет  
Россия, 354000, г. Сочи, ул. Советская, 26-А

E-mail: recreachin@rambler.ru

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены проблемы социально-экономического развития арктических территорий страны. Значительный территориальный потенциал России используется недостаточно эффективно, поэтому в условиях геополитических и макроэкономических трансформаций необходим поиск эффективных инструментов и механизмов, способствующих включению регионов со сложным социально-экономическим положением в экономическую систему страны. Исследование базируется на концепциях пространственного развития и государственного управления данным процессом на уровне административных субъектов. В ходе проведенного анализа было определено, что на территориальное развитие арктических регионов негативно влияют такие факторы, как низкий уровень развития инфраструктуры, недостаточно развитые транспортные узлы, географическое положение и суровые климатические особенности. В данном положении приоритетным направлением является реализация Стратегии территориального развития Арктической зоны в рамках модернизации логистики и транспортной системы. Обосновано, что наиболее эффективными территориальными формами организационно-экономического управления, в рамках комплексного подхода развития арктических зон, является формирование кластерных организаций и территорий опережающего социально-экономического развития, привлекательных для инвесторов. Кластерная политика для рассматриваемых территорий должна осуществляться на основе комплексного программно-целевого и инновационного индикативного планирования. Опыт государственного регулирования пространственно-территориального развития в России является успешным на проектной основе, с развитым инструментальным обеспечением реализации тактических и стратегических задач, эффективной системой контроля и стимулирования привлечения субъектов бизнес-среды. Практическая значимость исследования состоит в возможности адаптации положительных результатов сетевой и кластерной интеграции для регионов страны со сложными природно-климатическими условиями, формировании возможностей для роста в качестве самостоятельного элемента экономической системы страны. Научная новизна результатов заключается в применении рыночных технологий и инструментов в решении социально-экономических задач территориального развития, что представляет значительный научно-теоретический и практический интерес.

**Ключевые слова:** арктическая зона, кластерные организации, Северный морской путь, инфраструктура, транспортные узлы, стратегия развития, эффективность

**Для цитирования:** Оборин М.С. 2022. Стратегические направления пространственного развития Арктических территорий. Экономика. Информатика, 49(3): 456–466. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-456-466

## Strategic Directions of Spatial Development of the Arctic Territories

**Matvey S. Oborin**

Plekhanov Russian University of Economics, Perm branch  
57 Gagarin Blv, Perm, 614070, Russia;  
Perm State National Research University,  
15 Bukireva St, Perm, 614990, Russia;  
State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov,  
23 Petropavlovskaya St, Perm, 614990, Russia;  
Sochi State University,  
26-A Sovetskaya St, Sochi, 354000, Russia  
E-mail: recreachin@rambler.ru

**Abstract.** This article discusses the problems of socio-economic development of the Arctic territories of the country. Russia's considerable territorial potential is not being used effectively enough, therefore, in the context of geopolitical and macroeconomic transformations, it is necessary to search for effective tools and mechanisms that contribute to the inclusion of regions with a difficult socio-economic situation in the country's economic system. The research is based on the concepts of spatial development and state management of this process at the level of administrative entities. In the course of the analysis, it was determined that the territorial development of the Arctic regions is negatively affected by factors such as the low level of infrastructure development, insufficiently developed transport hubs, geographical location and harsh climatic features. In this provision, the priority direction is the implementation of the Strategy of Territorial Development of the Arctic zone within the framework of modernization of logistics and transport system. It is proved that the most effective forms of territorial organizational and economic management, within the framework of an integrated approach to the development of Arctic zones, is the formation of cluster organizations and territories of advanced socio-economic development, attractive to investors. Cluster policy for the territories under consideration should be implemented on the basis of comprehensive program-targeted and innovative indicative planning. The experience of state regulation of spatial and territorial development in Russia is successful on a project basis, with developed instrumental support for the implementation of tactical and strategic tasks, an effective system of control and stimulation of attracting business entities. The practical significance of the study lies in the possibility of adapting the positive results of network and cluster integration for the regions of the country with difficult natural and climatic conditions, the formation of opportunities for growth as an independent element of the country's economic system. The scientific novelty of the results lies in the application of market technologies and tools in solving socio-economic problems of territorial development, which is of considerable scientific, theoretical and practical interest.

**Keywords:** Arctic zone, cluster organizations, Northern Sea Route, infrastructure, transport hubs, development strategy, efficiency

**For citation:** Oborin M.S. 2022. Strategic Directions of Spatial Development of the Arctic Territories. Economics. Information technologies, 49(3): 456–466 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-456-466

---

### Введение

В сложившихся для Российской Федерации макроэкономических условиях необходимо осуществлять поиск эффективных стратегических решений, связанных с пространственным развитием. Территориальный потенциал страны представлен следующими полюсами роста: сельские территории, регионы Севера и Арктики. Государственная поддержка устойчивого роста регионов Севера и Арктики выражена в принятии и реализации комплекса нормативно-правовых документов, публикации множества научных работ. В России сформирована Стратегия территориального развития Российской Федерации и государственная Программа социально-экономического развития Арктики [Котов, 2017.]. Анализ данных документов позволяет выделить несколько концепций к выбору механизмов управления территориальным развитием:

- кластерное развитие, обеспечивающее компенсаторный эффект слабо развитой транспортной инфраструктуры и удаленности более развитых центров (ядра);
- сетевое коммуникационное развитие, обеспечивающее связанность территорий и транспортную доступность промышленных и жизнеобеспечивающих объектов;
- высокотехнологичное инфраструктурное обеспечение транзита Северного морского пути.

Основными объектами планирования развития согласно Стратегии являются территории со сложным социально-экономическим положением и низкой плотностью населения, но обладающие определенным потенциалом формирования собственных воспроизводственных сил. Характеристиками регионов арктической зоны являются:

- слабая территориальная связанность и низкий уровень развития транспортной инфраструктуры, в связи с чем проблемным является торгово-экономическое и производственное взаимодействие между бизнес-объектами и развитыми центрами;
- значительная удаленность от регионов и транспортных баз, что влияет на стоимость транспортных расходов, увеличение сроков доставки;
- неблагоприятные условия окружающей среды для развития производства и жизнедеятельности;
- монопрофильная специализация, ориентированная на ресурсодобывающие отрасли;
- интенсивное реагирование на вредные антропогенные воздействия.

Эти особенности характеризуют регионы, находящиеся в арктической зоне России (рис. 1).

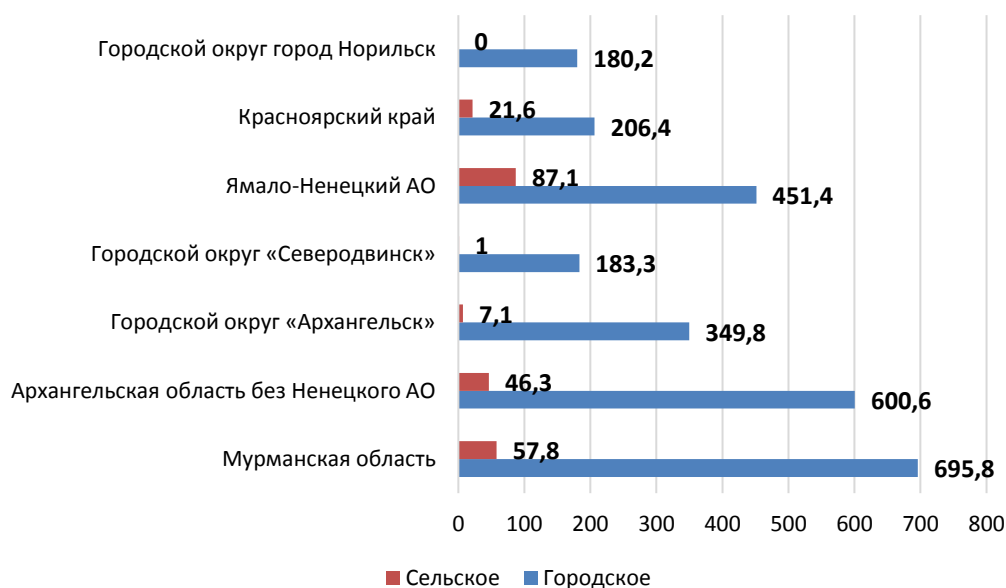


Рис. 1. Регионы с наибольшим количеством населения, тыс. чел.  
(составлено по данным [Гладышева И.В., 2017; Дидык В.В., 2018])

Fig. 1. Regions with the largest population, thousand people (compiled by according to [Gladysheva I.V., 2017; Didyk V.V., 2018])

Наиболее высокий коэффициент неблагоприятных факторов отмечается в 2017 году и составляет 5,6 %, в сравнении со средним уровнем безработицы, составляющим 5,2 % (рис. 2).

По всем территориям наблюдается снижение численности населения от 3,3–36,3 %, границы диапазона: Красноярский край и Республика Коми.

Преобладающая незанятость населения отмечена в Мурманской области и Ненецком автономном округе – 7–8 %. При таком высоком уровне безработицы территории арктической зоны характеризуются наличием богатых природных ресурсов, составляющих 1/10 ВВП

РФ. Природно-ресурсный потенциал региона составляет: 9/10 никеля и кобальта, 3/5 меди, 4/5 газа и 1/5 нефти и газового конденсата, 9/10 алмазов, что составляет 70–90 % от общероссийских запасов соответствующих видов минерального сырья. Доля Арктической зоны в национальном экспорте составляет до 25 %. Практически половина полезных ископаемых, включая медь, никель, золото, платину, экспортируется в другие страны. В долгосрочной перспективе полезные ископаемые будут представлять основной ресурс для развития экономической системы практически всех зон Арктики [Корняков, 2018].

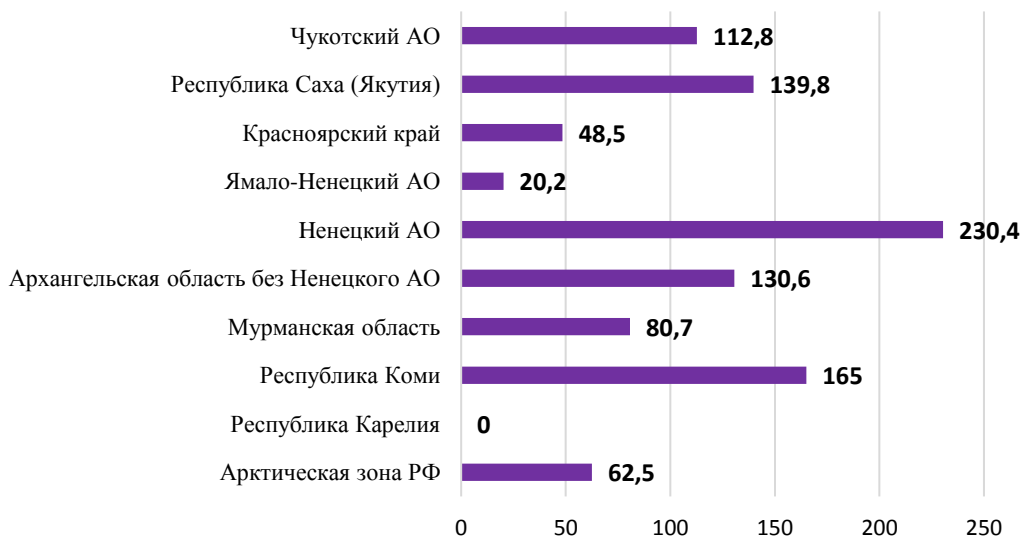


Рис. 2. Коэффициенты миграционного прироста населения по Арктической зоне РФ, % (рассчитано по данным [Гладышева И.В., 2017; Дидык В.В., 2018; Дмитриева Е.О., 2017])  
Fig. 2. Coefficients of migration population growth in the Arctic zone of the Russian Federation, % (calculated according to [Gladysheva I.V., 2017; Didyk V.V., 2018; Dmitrieva E.O., 2017])

В рамках территориального развития арктической зоны России были выделены перспективные тенденции по их управлению и координации роста: совершенствование производственной структуры, специализирующейся в определенном направлении; улучшение инвестиционной привлекательности регионов и реализация наиболее перспективных проектов; расширение и налаживание транспортных сетей, развитие социально-экономической инфраструктуры; снижение уровня миграции местного населения с учетом изменения условий жизнедеятельности.

В рамках развития арктических территорий России целесообразно провести подробный анализ внутренней организационной структуры каждой отдельной местности, изучить социально-экономические проблемы и перспективы каждого региона. Исходя из текущей социально-экономической и демографической ситуации и учета ведения экономической деятельности в Арктике в сложных и даже экстремальных условиях, необходима дополнительная социальная и бюджетная поддержка от государства для определенных отраслевых зон [Гиниятов, 2019].

Сформированная стратегия развития для данных территорий включает следующие подходы:

- разработка специализированной государственной поддержки при учете статистических данных социально-экономического развития каждой отдельной территории, миграционных процессов в данной местности, проектной интеграционной основы кооперации;
- приоритет этнической культуры в рамках социально-экономической поддержки регионов РФ, обеспечение правовых гарантий коренному местному населению, поддержка



местного населения в социальном, экономическом и культурном направлении, рациональное применение природных ресурсов; приобщение местного населения и предпринимательских структур к планированию социально-экономического развития территорий [Недосека, Жигунова, 2019].

Перечисленные подходы и принципы должны быть соблюдены при стратегическом планировании сбалансированного развития территорий Арктики [Кондратов, 2017].

Правительством Российской Федерации была разработана также еще одна стратегическая программа в рамках развития Арктики – проект «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации». В предлагаемой стратегии для каждого отдельного региона будут рассмотрены определенные меры, реализуемые в рамках ГЧП.

Процесс управления деятельностью представленных территорий включает следующие задачи: увеличение уровня конкурентоспособности и диверсификация экономики, комплексное социально-экономическое развитие, создание условий для благополучной жизнедеятельности местного населения.

При комплексном подходе в рамках развития арктических территорий используется интегрирование действенных механизмов политики местных органов власти и форм государственной поддержки по вложению в инвестиционные проекты. Что с практической стороны не так просто осуществимо ввиду сложной организации необходимого финансового обеспечения проекта и активного взаимодействия всех субъектов, задействованных в осуществлении данного мероприятия. На данный момент комплексный подход к развитию арктических территорий полностью не согласован в окончательной форме и не оформлен законодательно.

При этом Стратегия развития арктических территорий включает направление по территориям, которые отличаются военным либо экономическим преимуществом, а также характеризуются особенностями жизнедеятельности и развития бизнеса, при этом существенно влияя на территориальную целостность и безопасность государства. Таким образом, развитие инфраструктуры минерально-сырьевых предприятий; нормализация условий функционирования морских портов, деятельность которых обеспечивает работу Северного морского пути (СМП); поддержка социально-экономического развития стратегически важных функционирования Северного морского пути и экономической системы арктических территорий будет осуществляться непосредственно в пределах стратегически важных территорий в первую очередь. В рамках Стратегии развития территорий Арктики с особым экономическим преимуществом, приоритет развития направлен на территории Архангельской, Мурманской, Нарьян-Марской, Салехардской, Норильской, Анадырской области [Осипов, 2019].

Документы стратегического планирования приводят концепции «опорной зоны» и «геостратегической зоны», которые в целом имеют похожее значение, но при этом не идентичны по своему направлению, функциональному содержанию и целям, что является несомненным препятствием в формировании комплексного инструмента эффективной координации развития Арктического края [Дмитриева, 2017].

На сегодняшний день большая часть проектов развития арктических территорий направлена на исследование полезных ископаемых. Добывающая промышленность является приоритетным отраслевым направлением на территориях Арктики. Тем не менее наблюдаются принципиальные отличия в экономической системе приоритетных арктических регионов, которые представлены уникальной экономической специализацией для России (таблица 3).

Кольский полуостров и Архангельская область отличаются наиболее диверсифицированной структурой экономики. На территориях развиты такие отрасли, как: добывающая промышленность, глубокая переработка природного сырья, высокотехнологичные сектора химической промышленности и машиностроения, пищевая промышленность, а также более или менее развитая отрасль обслуживания, а именно наука и образование, а также транспортная логистика.

Перспективная экономическая специализация арктических территорий\*  
Promising economic specialization of the Arctic territories

Регион	Специализация
Республика Карелия	Разработка месторождений; лесопромышленное производство, производство готовых металлических изделий, машин и оборудования; рыболовство и рыбоводство; транспортировка и хранение; туризм
Республика Коми	Разработка месторождений; лесопромышленное производство, производство кокса и нефтепродуктов; производство машин и оборудования; туризм
Мурманская область	Разработка месторождений; металлургическое производство; производство транспортных средств и оборудования; выпуск химических продуктов; рыболовство и рыбоводство; развитие информационных платформ, научная и техническая деятельность; транспортировка и хранение; туризм
Архангельская область	Разработка месторождений; лесопромышленное производство; производство готовых металлических изделий, машин и оборудования, транспортных средств, электрического оборудования, резиновых и пластмассовых изделий, химических веществ и продуктов; рыболовство и рыбоводство; развитие информационных платформ, научная и техническая деятельность; транспортировка и хранение; туризм
Ненецкий АО	Разработка месторождений; животноводство (оленоводство); охота и рыболовство
Ямало-Ненецкий АО	Разработка месторождений; производство нефтепродуктов, химических веществ и продуктов; животноводство (оленоводство); охота и рыболовство
Красноярский край	Разработка месторождений; металлургическое производство; животноводство (оленоводство); рыболовство; туризм
Республика Саха	Разработка месторождений; животноводство (оленоводство); охота и рыболовство; транспортировка и хранение
Чукотский АО	Разработка месторождений; производство кожи и кожанных изделий; животноводство (оленоводство); охота и рыболовство; транспортировка и хранение

\*Составлено по данным [Плисецкий, 2016]

По мере продвижения в арктические районы Сибири и Дальнего Востока (Ямало-Ненецкий, Таймыр-Туруканский, Северо-Якутский и Чукотский округа) отраслевая структура минимизируется до комплекса разработки месторождений, олениводства, охоты и рыболовства.

Транспортные сети на представленных территориях обслуживаются Северным морским путем, через который осуществляется доставка необходимых промышленных товаров и продуктов питания на Крайний Север в летнее время года. Соответственно, развитие и функционирование приоритетных территорий неотъемлемо от развития транспорта и логистики, так как реализация инвестиционных проектов зависит непосредственно от высокой результативности и эффективности совместной деятельности транспортных узлов Арктики, направленных на Северный морской путь и территории, расположенные в крупных промышленных зонах Арктики. Данное взаимодействие носит взаимозависимый характер, поскольку результативность промышленных зон обеспечивается при эффективном развитии производственных объектов на основе полноценной работы транспортных узлов [Павленко, 2018].

Для того, чтобы реализация государственных стратегических проектов показала максимальный эффект, необходима разработка нестандартных подходов и совершенствование систем управления, стабильное финансирование и последовательный мониторинг растущих





показателей. Поскольку арктическим территориям свойственен специфический характер, необходим поиск наиболее результативных мер территориального управления данными экономическими системами [Дидык, 2018].

К явным проблемам регулирования пространственного развития территорий можно отнести недостаточную организацию и непривлекательность для инвесторов, которые ориентируются на отдельные отрасли. Кроме того, в результате отсутствия соответствующей координации отраслевые инвестиционные проекты не всегда совпадают с запланированными результатами региональных программ социально-экономического развития.

Вместе с приоритетными направлениями расширения минерально-сырьевого производства, действующими на территориях социально-экономического развития, региональные кластеры могут стать механизмом территориальной организации экономики в регионах Арктики.

Туристический рекреационный кластер, к примеру, создан в Мурманской области, которая обладает богатыми природными ресурсами и привлекательным для туристов географическим положением, в связи с чем кластер способствует развитию потенциальных ресурсов данной территории. Функционирование кластера построено на управлении координирующим центром, деятельность которого сосредоточена непосредственно на проблемах развития кластерных организаций. В целях повышения эффективности транспортной системы и географических условий региона планируется формирование кластера, обеспечивающего навигацию по СМП.

Судостроительный кластер успешно реализует свои функции в Архангельском крае по таким направлениям, как судостроительные верфи, автомобильные заводы и производство средств технического обеспечения, производство микроэлектроники и приборостроения, а также научные центры и институты. Необходимо также отметить успешное развитие судостроительных кластерных образований, таких как: ОАО ПО «Севмаш», ОАО «Центр судоремонта», ОАО «Звездочка», СПА «Арктика», Северного федерального университета им. М.В. Ломоносова, Архангельский научный центр Уральского отделения РАН и другие. В данных кластерных организациях заняты до 50 тысяч единиц местного населения Архангельской области.

В 2016 году на данной территории был сформирован лесопромышленный кластер «ПоморИнновалес». Деятельность лесопромышленного кластера начиналась с внедрения современных инноваций в процесс производства, что продемонстрировало в дальнейшем эффективные показатели работы данной формы организации. В кластер входят до 40 отраслей промышленности по заготовке и обработке древесины, транспортные сети, базовые отрасли по обеспечению электрической и тепловой энергии, научные центры и институты.

В 2018 году был представлен еще один новый проект по развитию Южного кластера в промышленной зоне Норильска. Проект по формированию Южного кластера предполагает включение обогатительного комбината Норильска при использовании инновационных методов добычи полезных ископаемых на основе современных технологий. При реализации всех поставленных целей и задач, данная кластерная организация должна повысить производство рутения, палладия, платины, родия и других металлов на 1/5, к тому же рост производства приведет к увеличению занятости местного населения путем предоставления более 2 тысяч рабочих мест в Норильской промышленной зоне. По предварительным данным проект оценивается в 110 млрд рублей.

Кластерные организации оказывают положительный эффект как на сферы производства, так и на сферы образования и развитие профессиональных компетенций.

Таким образом, судя по опыту развитых европейских стран, формирование кластеров положительно влияет на производственный сектор, улучшение жилищно-коммунального хозяйства, направлений здравоохранения и создание тесного взаимодействия образовательных и научных институтов с производственной отраслью.

Наряду с региональными кластерами территории опережающего социально-экономического развития вполне могут послужить эффективным инструментом территори-

альной организации экономики в Арктике. Формирование территорий опережающего социально-экономического развития, в настоящее время, находится в активной фазе развития.

В настоящее время в Чукотском автономном округе в состав территории опережающего социально-экономического развития включен Беринговский поселок, включающий до 20 участников с планом по инвестиционным проектам в 15 млрд рублей. Арктическая зона европейского Севера российской Федерации также постепенно начала формирование территории опережающего социально-экономического развития, основной целью которых является развитие направленных на развитие моногородов с определенной специализацией, данные города включают Кировск в Мурманской области и Онегу в Архангельской области. Целесообразным решением было бы расширить зоны арктических территорий по созданию территории опережающего социально-экономического развития, поскольку большей части монопрофильных городов в Арктике свойственны схожие проблемы и ограничения социально-экономического развития ввиду суровых климатических условий и так далее [Гладышева, 2017].

На эффективное развитие северных территорий и Арктических зон существенное влияние оказывает развитая транспортная логистическая система и налаженное взаимодействие межрегиональных и экономических отношений. Северный морской путь, обслуживающий порты Арктики и рек Сибири, является важнейшим транспортным сообщением и имеет большое стратегическое значение для Российской Федерации. Северный морской коридор является самым коротким морским сообщением между Европейской частью России и Дальним Востоком. Через Северный морской коридор происходит транспортировка важнейших грузов жизнеобеспечения, технического оснащения, транспортных средств, топлива и продовольствия, необходимых для развития арктических территорий России.

Многие зарубежные авторы в своих работах обозначают Северный морской путь как альтернативное конкурентное направление Суэцкому каналу с целью транспортировки больших грузов. Однако суровый климат, неготовность флота осуществлять транспортировку грузов из-за отсутствия ледового класса судов и многие другие факторы ограничивают функциональные возможности Северного морского пути. Тем не менее большинство стран, и прежде всего Китай, Южная Корея и Япония, заинтересованы в функционировании Северного морского пути и использовании природных ресурсов арктических территорий, транспортировке сырьевого материала в свои страны [Рябова, 2019].

Эффективное функционирование Северного морского пути напрямую зависит от прибрежной инфраструктуры, расположенной в портовых центрах и границах транспортной магистральной. Портовые центры и развитая береговая инфраструктура играют важную роль в рамках территориального развития арктических зон. Ядром развития экономической системы береговых зон являются следующие портовые центры: Дудинка, Игарка, Тикси и Певек. Тем не менее такие портовые города как Мурманск и Архангельск, реализующие транспортировку грузов, являются не только основными портовыми центрами, но и ключевым элементом ледокольного флота и Северного морского пароходства, их грузооборот в 2019 году вырос на 17,4 % и 16,3 % соответственно.

Мурманск и Архангельск имеют развитые железнодорожные коммуникации с промышленно развитыми регионами центральной части России и северо-запада страны. Не менее существенное значение в процессе экономического развития имеет наземная транспортная инфраструктура территорий, обеспечивающая бесперебойную доставку грузов внутри региона [Плисецкий, 2016].

Одной из наиболее актуальных проблем на сегодняшний день является неполноценное использование Северного морского коридора, поскольку всего лишь два порта – Мурманск и Сабетт – обеспечивают транспортировку грузов.

С учетом данной проблемы в Транспортную стратегию РФ на период до 2030 года были включены следующие задачи, имеющие приоритетное значение: строительство новых функциональных портов на территории Северного морского пути, содействие скорейшему открытию нового глубоководного порта в Архангельской области и развитие железнодорож-



ной инфраструктуры [Баишева, 2017]. Для того, чтобы реализовать все перечисленные планы, необходимы инвестиционные вложения в размере 150 млрд рублей. Также необходимо на основе логистических операций и реализации ГЧП повысить эффективность Северного морского коридора, через который станет возможным не только транспортировать стратегически важные грузы, но и пользоваться данным транспортно-логистическим направлением в рамках взаимных выгод приграничных регионов.

Активное развитие и расширение глубоководных портов арктических зон приведут к увеличению грузопотока через Северный морской путь до 80 млн тонн к 2024 году.

Сегодня уровень инфраструктурного развития большинства портов Северного морского пути довольно низкий и требует максимальной модернизации. Неразвитая инфраструктура портовых центров усугубляет множество проблем, включая транспортировку грузов с большой задержкой, несвоевременные поставки топлива и продовольственных товаров в северные территории. Кроме Мурманска и Архангельска, другие арктические порты также ведут работы по модернизации и развитию инфраструктурных объектов [Калмыков, Меньщикова, Меркулова, Константинов, Константинова, Тетенькина, 2018].

Северное морское сообщение тянется от внутренних течений Северодвинска, Печерска, Обь-Иртыша, Енисея, Лены, по которым доставляются необходимые грузы. Соответственно, функционирования только Северного морского пути недостаточно, поэтому возникает необходимость введения других транспортных средств, обеспечивающих эффективное развитие северных территорий Российской Федерации, совершенствование деятельности, связанной с использованием на внутренних водных путях судов для перевозок грузов. Также в целях разгрузки Северного морского коридора необходимо перенаправить часть грузов через транспортные сообщения Байкало-Амурской и Транссибирской магистрали, либо другие регионы РФ. Центры логистики в данном случае могут представлять порты Дальнего Востока, включая Ванино и Советскую Гавань на юге Хабаровского края, а также портовый центр Восточный-Находка в Приморье, имеющий оптимальные условия для создания транспортно-логистического кластера.

### Заключение

Таким образом, на основе анализа специфических характеристик и тенденций территориального развития северных зон Арктики, можно отметить множество негативных факторов, включая неблагоприятные климатические условия, географическое положение, неразвитую инфраструктуру и так далее. Наличие ряда ограничений значительно снижает уровень инвестиционной привлекательности арктических территорий и существенно увеличивает степень экономических рисков, связанных с вложениями и развитием данных территорий.

Ограничивают развитие арктических территорий также инертность систем управления, в частности несогласованность мер стратегического планирования, отсутствие комплексного взаимодействия муниципальных и федеральных властей, отсутствие рациональной системы организационного управления и регулирования экономических процессов в регионе. В совокупности данные причины негативно влияют на длительность сроков реорганизации инфраструктурных объектов и системного развития в целом. В настоящее время стратегия территориального развития северных территорий не поддерживает комплексный подход, сочетающий интеграцию усилий на решение производственных, социальных, экологических, экономических и демографических проблем. Стратегия в основном направлена на развитие отдельных отраслей, в которых сосредоточены средства инвесторов. При этом меры, реализованные в последние десятилетия в рамках развития арктических зон, показывают устойчивые результаты, что позволяет надеяться на дальнейшие эффекты территориального развития северных регионов Российской Федерации.

### Список литературы

- Баишева С.М. 2017. Трудовой потенциал и занятость молодежи Арктики: результаты полевых исследований. Северо-Восточный гуманитарный вестник, 1(18):39–46.
- Гиниятов М.Ю. 2019. Интегрированное решение для добычи нефти и газа. Интеллектуальное месторождение. Сфера. Нефть и газ, 5 (61):14–19.
- Гладышева И.В. 2017. Моногорода российской Арктики. Арктика и Север, 26: 76–84.
- Дидык В.В. 2018. Исследование практики стратегического планирования и управления в муниципальных образованиях Севера России. Региональная экономика: теория и практика, 23: 31–38.
- Дмитриева Е.О. 2017. Государственная поддержка моногородов РФ в условиях восстановления экономического роста. Интернет-журнал «Наукovedение», 1(9): 37.
- Калмыков Н.Н., Меньщикова В.И., Меркулова Е.Ю., Константинов И.Б., Константинова Е.П., Тетенкина О.Л. 2018. Ключевые направления стабилизации социально-экономического положения российских моногородов. Развитие территорий, 2 (12):14–18.
- Кондратов Н.А. 2017. Особенности развития транспортной инфраструктуры в Арктической зоне России. Географический вестник, 4(43): 68–80.
- Корняков К.А. 2018. Кадровые проблемы развития Арктики. Финансы и кредит, 24(15):929–938.
- Котов А.В. 2017. «Полярный Рур»: структурная политика в моногородах российской Арктики. Всероссийский экономический журнал ЭКО, 7: 34–52.
- Кулай С.В. 2019. Зарубежный опыт модернизации и реструктуризации экономики моногородов. Государственное управление. Электронный вестник, 73: 224–248.
- Недосека Е.В., Жигунова Г.В. 2019. Особенности локальной идентичности жителей моногородов (на примере Мурманской области). Арктика и Север, 37: 118–133.
- Осипова Е.Э. 2019. Судостроительный кластер Архангельской области. Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Экономика и управление, 2(1):151–158.
- Павленко В.И. 2018. Арктическая зона Российской Федерации в системе обеспечения национальных интересов страны. Арктика: экология и экономика, (4):16–25.
- Плисецкий Е.Е. 2016. Приоритеты развития Северного морского пути в стратегическом управлении и планировании. Арктика и Север, (22):101–111.
- Рябова Л.А. 2019. Местные сообщества планетарного Севера: тренды и факторы социального развития. Север и рынок: формирование экономического порядка, 2 (28):102–106.

### References

- Baisheva S.M. 2017. Trudovoj potencial i zanyatost' molodezhi Arktiki: rezul'taty polevyh issledovanij [Labor potential and employment of Arctic youth: results of field research]. SeveroVostochnyj gumanitarnyj vestnik, 1(18):39–46.
- Gladysheva I.V. 2017. Monogoroda rossijskoj Arktiki [Single-industry towns of the Russian Arctic]. Arktika i Sever, 26:76–84.
- Giniyatov M.Y. 2019. Integrirovanoe reshenie dlya dobychi nefi i gaza. Intellektual'noe mestorozhdenie [Integrated solution for oil and gas production]. Intellektual'noe mestorozhdenie. Sfera. Neft' i gaz, 5 (61):14–19.
- Didyk V.V. 2018. Issledovanie praktiki strategicheskogo planirovaniya i upravleniya v municipal'nyh obrazovaniyah Severa Rossii [A study of the practice of strategic planning and management in the municipalities of the North of Russia]. Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika, 23:31–38.
- Dmitrieva E.O. 2017. Gosudarstvennaya podderzhka monogorodov RF v usloviyah vosstanovleniya ekonomicheskogo rosta [State support of single-industry towns of the Russian Federation in the conditions of economic growth recovery]. Internet-zhurnal «Naukovedenie», 1(9):37.
- Kalmykov N.N., Menshchikova V.I., Merkulova E.Yu., Konstantinov I.B., Konstantinova E.P., Tetenkina O.L. 2018. Klyuchevye napravleniya stabilizacii social'no-ekonomicheskogo polozheniya ossijskih monogorodov [The key directions of stabilization of the socio-economic situation of the Ossetian single-industry towns]. Razvitie territorij, 2 (12):14–18.
- Kondratov N.A. 2017. Osobennosti razvitiya transportnoj infrastruktury v Arkticheskoy zone Rossii [Features of the development of transport infrastructure in the Arctic zone of Russia]. Geograficheskij vestnik, 4(43):68–80.
- Kornyakov K.A. 2018. Kadrovye problemy razvitiya Arktiki [Personnel problems of Arctic development]. Finansy i kredit, 24(15):929–938.



- Kotov A.V. 2017. «Polyarnyj Rur»: strukturnaya politika v monogorodah rossijskoj Arktiki ["Polar Ruhr": structural policy in single-industry towns of the Russian Arctic]. *Vserossijskij ekonomicheskij zhurnal EKO*, 7: 34–52.
- Kulai S.V. 2019. Zarubezhnyj opyt modernizacii i restrukturizacii ekonomiki monogorodov. Gosudarstvennoe upravlenie [Foreign experience of modernization and restructuring of the economy of single-industry towns]. *Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyj vestnik*, 73: 224–248.
- Nedoseka E.V., Zhigunova G.V. 2019. Osobennosti lokal'noj identichnosti zhitelej monogorodov (na primere Murmanskoy oblasti) [Features of the local identity of residents of single-industry towns (on the example of the Murmansk region)]. *Arktika i Sever*, 37:118–133.
- Osipova E.E. 2019. Sudostroitel'nyj klaster Arhangel'skoj oblasti. [Shipbuilding cluster of the Arkhangelsk region]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Ekonomika i upravlenie*. 2(1):151–158.
- Pavlenko V.I. 2018. Arkticheskaya zona Rossijskoj Federacii v sisteme obespecheniya nacional'nyh interesov strany [The Arctic zone of the Russian Federation in the system of ensuring the national interests of the country]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, (4):16–25.
- Plisetsky E.E. 2016. Prioritety razvitiya Severnogo morskogo puti v strategicheskom upravlenii i planirovanii [Priorities for the development of the Northern Sea Route in strategic management and planning]. *Arktika i Sever*, (22):101–111.
- Ryabova L.A. 2019. Mestnye soobshchestva planetarnogo Severa: trendy i faktory social'nogo razvitiya [Local communities of the planetary North: trends and factors of social development. Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poryadka, 2(28):102–106.

**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

**Оборин Матвей Сергеевич**, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры экономического анализа и статистики, Пермский институт (филиал) «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»; профессор кафедры мировой и региональной экономики, экономической теории, Пермский государственный национальный исследовательский университет, профессор кафедры менеджмента, Пермский государственный аграрно-технологический университет им. ак. Д.Н. Прянишникова, г. Пермь; профессор кафедры управления и технологий в туризме и сервисе, Сочинский государственный университет, г. Сочи, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Matvey S. Oborin**, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Economic Analysis and Statistics of the Perm Institute (branch) "Russian Economic University named after G.V. Plekhanov"; Professor of the Department of World and Regional Economy, Economic Theory of the Perm State National Research University, Professor of the Department of Management of the Perm State Agrarian and Technological University named after ac. D.N. Pryanishnikov, Perm; Professor of the Department of Management and Technologies in Tourism and Service, Sochi State University, Sochi, Russia

# ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ INVESTMENT AND INNOVATIONS

УДК 330.8

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-467-473

## Гуманитарная деятельность как фактор изменения характера экономических взаимоотношений

<sup>1</sup> Бегма Ю.С., <sup>2</sup> Зенкина Е.В.

<sup>1</sup> Компания BBGroup

Россия, 117461, г. Москва, Севастопольский пр-т, д. 83, корп. 1

<sup>2</sup> Российский государственный гуманитарный университет

Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Миусская площадь, д. 6

e-mail: stylusla@yandex.ru, evzenkina@mail.ru

**Аннотация:** Затянувшийся экономический кризис экономики развитых стран мира (определяющих, по сути, состояние всей мировой экономики) обнажил принципиальную ограниченность (в отличие от множества предшествующих кризисов) дальнейшей экспансии прежнего пути экономического роста. Наметился предел территориальной экспансии: не осталось больше стран и рынков, не вовлеченных в международный товарообмен разделения труда. Определился также предел роста объема товарного производства и сбыта. Основные направления развития производства – технологические новации, обеспечивающие глубокую переработку первичного сырья и постоянное обновление товарной продукции, автоматизация и роботизация, позволяющие снизить расходы на зарплату наемных работников, привели к относительному снижению уровня потребительского спроса, т. е. к кризисному перенасыщению рынка товаров широкого потребления. Стимулирование спроса за счет экспансии потребительского кредита в свою очередь быстро привело к критическому уровню неоплаченной задолженности и невозвратов банковских кредитов. В силу этого, в данной статье впервые предпринята попытка проанализировать пути и перспективы глубокой перестройки модели индустриального капиталистического производства и сложившегося общества потребления. Целью исследования является обоснование того, что экономический рост за счет расширения нематериального производства принципиально меняет неоклассическую модель капиталистической экономики и стандартные теоретические методы преодоления возникающих проблем развития в рамках принятой парадигмы оказываются малоэффективными. В результате исследования показано, что преодоление границ традиционного товарного рынка капиталистических стран идет сегодня за счет коммерциализации новых сфер виртуальной деятельности – науки, спорта, искусства, истории и даже религии. Дано определение гуманитарной деятельности как особой сферы деятельности современного общества, в которой используются (и раскрываются) возможности человека как личности, и прежде всего, его потенциал интеллектуальной, творческой деятельности, которая порождает качественно новые эффекты, новые механизмы взаимодействия экономических параметров. Таким образом, результаты исследования обосновывают становление новой теоретической модели развития мировой экономики.

**Ключевые слова:** виртуальная экономика, смена парадигмы неоклассической теории мировой экономики, особенности развития сфер гуманитарной деятельности, модель глобальной гуманитарной деятельности, гуманитарная экономика, экономика международных гуманитарных отношений

**Для цитирования:** Бегма Ю.С., Зенкина Е.В. 2022. Гуманитарная деятельность как фактор изменения характера экономических взаимоотношений. Экономика. Информатика, 49(3): 467–473. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-467-473



## Humanitarian Action as a Factor in Changing the Nature of Economic Relations

<sup>1</sup> Yuri S. Begma, <sup>2</sup> Elena V. Zenkina

<sup>1</sup>BBGroup company

83 Sevastopol Ave, building 1, Moscow, 117461, Russia

<sup>2</sup> Russian State University for the Humanity

6 Miusskaya Pl, GSP-3, Moscow, 125993, Russia

e-mail: stylusla@yandex.ru, evzenkina@mail.ru

**Abstract:** The prolonged economic crisis of the economies of the developed countries of the world (determining, in fact, the state of the entire world economy) exposed the fundamental limitations (in contrast to many previous crises) of the further expansion of the previous path of economic growth. The limit of territorial expansion has been outlined: there are no more countries and markets left that are not involved in the international trade in the division of labor. The limit of growth in the volume of commodity production and sales was also determined. The main directions of production development - technological innovations that ensure deep processing of primary raw materials and constant renewal of marketable products, automation and robotization, which reduce the cost of wages of employees, led to a relative decrease in the level of consumer demand, i.e. to a crisis oversaturation of the consumer goods market. Stimulating demand through the expansion of consumer credit, in turn, quickly led to a critical level of unpaid debt and non-repayment of bank loans. The purpose of the study in this article is to justify that economic growth due to the expansion of intangible production fundamentally changes the neoclassical model of capitalist economics and standard theoretical methods for overcoming emerging development problems within the framework of the adopted paradigm are ineffective. As a result of the study, it is shown that overcoming the boundaries of the traditional commodity market of capitalist countries today is through the commercialization of new areas of virtual activity - science, sports, art, history and even religion. This article attempts to analyze the prospects for a deep restructuring of the model of industrial capitalist production and the established consumer society. The definition of humanitarian activity is given as a special sphere of activity of modern society, which uses (and reveals) the possibilities of a person as a person, and above all, his potential of intellectual, creative activity, which gives rise to qualitatively new effects, new mechanisms of interaction of economic parameters.

**Keywords:** virtual economics, the paradigm of the neoclassical theory of world economy, the peculiarities of the development of humanitarian activities, the model of global humanitarian activities, the humanization of the economy, the economy of international humanitarian relations

**For citation:** Begma Y.S., Zenkina E.V. 2022. Humanitarian Action as a Factor in Changing the Nature of Economic Relations. Economics. Information technologies, 49(3): 467–473 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-467-473

---

### Введение

Бесспорно, можно изменить трактовку некоторых положений неоклассической теории мировой экономики, чтобы, оставаясь в рамках прежней парадигмы, учесть особенности виртуальной экономики (как это предлагается сегодня рядом ученых) [Мировая экономика, 2019; Мировая экономика и международные экономические отношения, 2021]. Но, принимая во внимание тенденцию развития мировой экономики и природу возникающих трудностей и противоречий сегодняшнего развития капиталистических стран, имеет смысл более внимательно рассмотреть особенности развития сфер гуманитарной деятельности, тех сфер, где доминирует роль человеческого фактора. Причем не в качестве еще одного фактора производства [Матецкая, 2006], с некоторыми проблемами его количественного учета, а как основополагающего фактора, природа которого качественно меняет характер экономических взаимоотношений [Baumol and Bowen, 1966; Бегма, 2015].



## **Объекты и методы исследования**

Классики экономической теории постулировали объективную независимость пространства и объектов созидательной деятельности людей от их личностных характеристик. Полная отчужденность объекта от субъекта. Само существование объектов, их характеристики, функционирование не зависят от технологии и условий их использования. Роль человека как субъекта деятельности в экономической модели промышленного капитализма, опирающейся на безусловное доминирование технологии и строгое выполнение разработанных технических стандартов и процедур, сводится к выполнению заданных нормативов и операций и никак не влияет ни на характеристики обрабатываемого материала, ни на параметры процесса. Конечно, и нормативы, и технологии тоже разрабатываются людьми, опять же, в соответствии со сложившимися стандартами и требованиями. Личное отношение исполнителя к выполняемой работе максимально исключается установленными регламентами. И любое их нарушение, как правило, объективно ухудшает результативность. В этом плане автоматизация процессов и минимизация возможного влияния человеческого фактора (в том числе, и за счет сокращения численности занятых) повышают рентабельность производства. Постулируется, что результаты экономической деятельности человека никоим образом не зависят от личностных предпочтений, знаний, умений исполнителей. Этическая нейтральность экономики – аксиома классической теории.

Гуманитарное отношение – это особое, личностное отношение между субъектом и объектом. Характеристики объекта практически полностью зависят от их оценки субъектом. Личные убеждения, предпочтения, целевые установки определяют и направление, нормы и методы работы с объектом. Такая взаимозависимость в гуманитарных отношениях прямо противоположна постулируемой независимости в экономических отношениях. Ведущая, определяющая роль человека присуща в первую очередь всем гуманитарным наукам. Однако гуманизм в той или иной мере присущ любой деятельности человека. Проявление гуманизма личностных отношений (в том числе, творческих инициатив и новаций) возможно, но в принципе не требуется условиями производства (и соответственно не учитывается теоретическими моделями экономики капитализма). В целом гуманитарные показатели – взаимоотношения людей – в рамках сложившейся системы капиталистического производства и потребления не считаются важными, заслуживающими внимания, и не включаются в функциональные характеристики объектов (а не активных субъектов), подчиняющихся установленным правилам и требованиям поведения.

## **Результаты и их обсуждение**

### **Новая модель глобальной гуманитарной деятельности**

Тенденция развития сфер творческой деятельности и относительного снижения в общественном производстве доли продукции материального потребления неизбежно приведет к замене неоклассической модели мировой экономики на новую модель глобальной гуманитарной деятельности [Башин, Дремова, Гринев, 2021; Зенкина, 2018].

Такого термина – «гуманитарная деятельность» – пока не существует, поскольку определение «гуманитарная» относится к качественной характеристике методов работы, а не к объектно-предметной характеристике, сфере деятельности, которые применяются в естественных науках и в экономике. Изменение метода исследования на методы гуманитарных наук позволяет характеризовать деятельность не строго по объектам, а по не очень четкому параметру качества этой деятельности.

Понятие «гуманитарная экономика», несмотря на лингвистическую близость (идентичность) более распространенному в литературе понятию «гуманизация экономики», несет, по сути, совершенно иной смысл. Гуманизация предполагает возможность учесть в неоклассических экономических моделях неопределенность действий человека, проявляющего помимо основного, предписанного ему стремления максимизировать свой доход в рамках четко



определенных условиях работы, какие-то иные желания, цели, возможности выйти за границы установленных задач. Формирование у людей, помимо сугубо материального благополучия, социальных, творческих, духовных интересов и запросов (стремление получить образование, занятие спортом, профессиональное обучение, знакомство с искусством, карьерный рост и пр.) связаны с изменением качества работников и их поведения в рамках производственного процесса.

«Гуманизация экономики» концептуально обосновывает необходимость учесть эти моменты качественного изменения рабочей силы. Желание сохранить основы неоклассической парадигмы определило «научное обоснование» возможности включения весьма неопределенных изменений человеческого фактора в строгие экономические модели в форме дополнительных затрат, равных «инвестициям» в формирование нового фактора производства. Главное было сохранен принцип единообразной количественной оценки качественно различных эффектов изменения человеческого фактора.

Этим объясняются современные подходы к образованию, здравоохранению, транспорту и коммуникациям, спорту как к платным услугам. Формально – это все услуги, которые легко вписываются в неоклассические модели по стоимости их предоставления, которые в свою очередь должны определяться исходными затратами. При этом никто не может строго определить и обосновать величину этой стоимости, учитывая все разнообразие и самих «услуг», и исполнителей. Но в эту схему легко вписываются взятки за «административную помощь» и «правовую защиту».

### **Гуманитарная деятельность как особая сфера деятельности современного общества**

Гуманитарная экономика – это экономика, учитывающая особенности «человеческого» взаимодействия. Не действие субъекта на отчужденный, независимый объект, а взаимодействие субъект-субъект, учитывающее специфику каждой конкретной ситуации и неопределенность эффектов.

Для гуманитарной экономики образование – это не набор информационных сведений, который преподаватель передает ученику (по заранее определенной смете затрат), учитель, передающий свое видение и понимание этой информации, определяющий сам выбор такой информации. Врач – это не просто специалист, обязанный выявить заболевание и оказать по регламенту (за предписанное время и за определенную плату) помощь, требуемый объем и характер медицинской помощи далеко не всегда соответствуют первичным стандартным показателям. Исторически истинным врачом всегда считался только тот, кто хочет, способен и готов идти за рамки первичной необходимой помощи, понять даже скрытые проблемы другого человека. Нельзя (в соответствии с неоклассической парадигмой) для такой территориально разбросанной страны как Россия рассматривать транспорт и систему коммуникации только видом услуг, оплачиваемых по законам рыночной экономики. Для гуманитарной экономики важнейшей оценкой является не прибыль, которую могут обеспечить эти услуги, а прежде всего возможность обеспечить общение населения, как условие сохранения национального единства. Единое информационное пространство и интенсивная коммуникация между всеми районами страны важны, чтобы избежать социального отчуждения. Оценка реальной ситуации, меняющиеся экономическая политика и ее критерии эффективности, вместо заданной максимизации прибыли – характеристика формирующейся гуманитарной экономики (вместо гуманизация существующей).

Экономическая деятельность составляет лишь часть деятельности человека – производство товаров потребительского спроса (или как говорил один из левых марксистов – экономика – это всего лишь переделка одних товаров с помощью других). А деятельность человека направлена на освоение и очеловечивание окружающего его пространства [Зенкина, Ивина, 2017; Hesmondhalgh, David, 2019]. Переработка исходных природных богатств в материальную продукцию потребления сочетается с более масштабной и сложной деятельно-

стью людей освоением нравственных, духовных ценностей, развитием личных способностей, освоением закономерностей развития окружающего мира.

Механизм интернационализации этой деятельности (и может быть приспособления его в каком-то виде к более или менее изученному механизму рыночной экономики производства и обмена товаров) составляет интересную и сложную научную задачу, которую и предлагается назвать экономикой международных гуманитарных отношений.

Гуманитарная деятельность должна рассматриваться как особая сфера деятельности современного общества, в которой используются (и раскрываются) возможности человека как личности, и прежде всего, его потенциал интеллектуальной, творческой деятельности.

Гуманитарная деятельность порождает качественно новые эффекты, новые механизмы взаимодействия экономических параметров [Бегма, 2008; Бегма, Шабельникова, 2010; Бегма, Кочарян, 2010; Бегма, 2011; Зенкина, 2022b]. Нужно будет не модифицировать принятые понятия под воздействием гуманитарных факторов, а формировать новое понимание экономических закономерностей для новой сферы деятельности [De Beukelaer, Christiaan, Spence, Kim-Marie, 2019; Florida Richard, 2002; Мальшина, Гарнов, 2021].

### Заключение

В сферу международного бизнеса постепенно вовлекаются спорт, искусство, музейное и библиотечное дело, телевидение, моделирование одежды и т. п., которые имеют особый механизм ценообразования, отличающийся от традиционной оценки издержек производства и требующий разработки особого механизма рыночных операций. Эта группа виртуальных товаров («символических» товаров, товаров «роскоши и развлечений») требует освоения новой техники ценообразования. Это в свою очередь потребует освоения концептуально новых понятий стоимости, цены, денег, меры эквивалентности, механизма распределения доходов в современном обществе [Зенкина, 2021; Зенкина, 2022a; Richard, 2000].

Все эти сферы нельзя сводить к понятию «услуги», как это навязала неоклассическая теория. Общество как система нуждается в общесистемных видах деятельности, которые важны не величиной генерируемого дохода, а своей функциональной ролью обеспечения развития этого общества. Общество нуждается в транспорте, средствах коммуникации, образовании, медицинском обслуживании, спорте. Эти сферы деятельности обеспечивают гуманитарную общность людей. Они не могут относиться к «услугам» по своей сути, это – внутрисистемные функциональные отношения.

Качественно новые принципы гуманитарной экономики неизбежно порождают некоторые методологические трудности при построении экономических моделей. Ведь придется отказаться от единообразия и общности в оценке результатов. Это означает, по сути, отказ от общих аналитических моделей, признание их потенциальной изменчивости и возможности целенаправленного манипулирования в силу их субъективного характера.

В модель включается механизм интересубъективных отношений – диалог, общение, манипулятивность параметров. Важную роль при этом играют понятия «правда», «справедливость», «доверие», которые формируются и разворачиваются вокруг людей. Истина гуманитарного познания отождествляется с субъективной правдой. В свою очередь участники анализа экономической ситуации не могут оставаться безучастными наблюдателями (как в естественных науках), их мировоззрение, понимание, трактовка ситуации неизбежно меняются в процессе познания, а знания приобретают нравственную составляющую.

### Список источников

- Башин Ю.Б., Дремова Ю.Г., Гринев Г.Н. 2021. Экономика информационного общества. Учебное пособие, Сер. Высшее образование: Бакалавриат. Москва, 302 с.
- Мировая экономика. 2019. Ю.А. Щербанин, Е.В. Зенкина, П.И. Толмачев, В.М. Грибанич, А.В. Дрыночкин, Е.В. Королев, В.М. Кутовой, Б.Б. Логинов. Москва: ООО «Издательство "Юнити-Дана», 503 с.



Мировая экономика и международные экономические отношения. 2021. А.В. Абрамова, Д.А. Алёшин, Апанович М.Ю., Арапова Е.Я., Булатов А.С., Волков А.М., Габарта А.А., Галищева Н.В., Горбанев В.А., Дегтерева Е.А., Дегтярева О.И., Елагин Д.П., Жданов С.В., Завьялова Е.Б., Зарицкий Б.Е., Зенкина Е.В., Иванова Н.А., Исаченко Т.М., Кавешников Н.Ю., Калашников Д.Б. и др. Полный курс. Учебник / Москва, Сер. Бакалавриат (4-е издание, переработанное и дополненное), 370 с.

### Список литературы

- Бегма Ю.С., Шабельникова Д.В. 2010. Секреты ценообразования на арт-рынке. Экономический журнал, 4 (20): 128–132.
- Бегма Ю.С. 2008. Рынок товаров культуры. В сборнике: Национальная модель развития экономики России. материалы VIII Чайановских чтений: 117–124.
- Бегма Ю.С. 2015. Мировая экономика: неизбежна ли смена парадигмы? Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право, 2 (2): 9–22.
- Бегма Ю.С. 2011. Экономика моды: реальность или игра слов. Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право, 10 (72): 204–213.
- Бегма Ю.С., Кочарян Ш.Р. 2010. Знаки моды: каприз или потребность? Экономический журнал, 4 (20): 141–145.
- Зенкина Е.В. 2018. Постиндустриализация как общая закономерность современных изменений в экономических процессах. Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством, 4 (38): 74–77.
- Зенкина Е.В. 2022. Международные валютно-финансовые отношения в постиндустриальном мире. Монография, Москва, 169 с.
- Зенкина Е.В., Ивина Н.В. 2017. Постиндустриализация: роль знаний в новой экономике. Международный технико-экономический журнал, 1: 7–12.
- Зенкина Е.В. 2021. Информационная глобализация как новая основа современной международной экономики: задачи экономической политики России. Наука и искусство управления. Вестник Института экономики, управления и права Российского государственного гуманитарного университета, 3: 52–59. DOI: 10.28995/2782-2222-2021-3-52-59
- Зенкина Е.В. 2022а. Международная гуманитарная деятельность: новые тенденции международного бизнеса. Международный научный журнал, 2: 110–118. DOI: 10.34286/1995-4638-2022-83-2-110-118.
- Зенкина Е.В. 2022б. Финансовые инновации развития социальной и солидарной экономики. Экономика. Информатика, 49(1): 59–66.
- Мальшина Н.А., Гарнов А.П. 2021. Индустрия культуры и креатива. Управление потоковыми процессами. Монография, Москва, Сер. Научная мысль, 160 с.
- Матецкая М.В. 2006. Экономика культуры и вектор институциональных реформ. Вестник СПбГУ, 5(4): 157–162.
- Baumol W.J. and Bowen W.G., 1966. Performing Arts. The Economic Dilemma. A study of Problems common to Theater, Opera, Music and Dance. New York, The Twentieth Century Fund, XVI p., 582 p.
- De Beukelaer, Christiaan, Spence, Kim-Marie. 2019. Global Cultural Economy, Routledge, 1st Edition, 200 p.
- Florida, Richard. 2002. The Rise of the Creative Class. And How It's Transforming Work, Leisure and Everyday Life, New York: Basic Books, P.46.
- Hesmondhalgh, David. 2019. The Cultural Industries, SAGE Publishing, University of Leeds, UK, fourth edition, P.568.
- Richard E. 2000. Caves Creative Industries: Contracts Between Art and Commerce - Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, and London, England. P. 454.

### References

- Begma Yu.S., Shabelnikova D.V. 2010. Secrets of pricing in the art market. Economic Journal, 4 (20): 128–132.
- Begma Y.S. 2008. The market of cultural goods. In the collection: The national model of the development of the Russian economy. Materials of the VIII Chayanov readings: 117–124.
- Begma Yu.S. 2015. World economy: Is a paradigm shift inevitable? Bulletin of the Russian State University. Series: Economics. Management. The right, 2 (2): 9–22.

- Begma Y.S. 2011. Fashion economics: reality or a play on words. *Bulletin of the Russian State University. Series: Economics.Management. The right*, 10 (72): 204–213.
- Begma Y.S., Kocharyan S.R. 2010. Fashion signs: a whim or a need? *Economic Journal*, 4 (20): 141–145.
- Zenkina E.V. 2018. Postindustrialization as a general pattern of modern changes in economic processes. *News of higher educational institutions. Series: Economics, Finance and Production Management*, 4 (38): 74–77.
- Zenkina E.V. 2022. *International monetary and financial relations in the post-industrial world. Monograph*, Moscow, 169 p.
- Zenkina E.V., Ivina N.V. 2017. Postindustrialization: the role of knowledge in the new economy. *International Technical and Economic Journal*, 1:7–12.
- Zenkina E.V. 2021. Information globalization as a new basis of the modern international Economy: Tasks of Russia's Economic Policy. The science and art of management. *Bulletin of the Institute of Economics, Management and Law of the Russian State University for the Humanities*, 3: 52–59. DOI: 10.28995/2782-2222-2021-3-52-59
- Zenkina E.V. 2022a. International humanitarian activity: new trends in international business. *International Scientific Journal*, 2: 110–118. DOI: 10.34286/1995-4638-2022-83-2-110-118.
- Zenkina E.V. 2022b. Financial innovations for the development of a social and solidary economy. *Economy. Computer science*, 49(1): 59–66.
- Malshina N.A., Garnov A.P. 2021. The industry of culture and creativity. Control of streaming processes. *Monograph, Moscow, Ser. Scientific thought*, 160 p.
- Matetskaya M.V. 2006. The economy of culture and the vector of institutional reforms. *Bulletin of St. Petersburg State University*, 5(4): 157–162.
- Baumol W.J. and Bowen W.G., 1966. *Performing Arts. The Economic Dilemma. A study of Problems common to Theater, Opera, Music and Dance*. New York, The Twentieth Century Fund, XVI p., 582 p.
- De Beukelaer, Christiaan, Spence, Kim-Marie. 2019. *Global Cultural Economy*, Routledge, 1st Edition, 200 p.
- Florida, Richard. 2002. *The Rise of the Creative Class. And How It's Transforming Work, Leisure and Everyday Life*, New York: Basic Books, P. 46.
- Hesmondhalgh, David. 2019. *The Cultural Industries*, SAGE Publishing, University of Leeds, UK, fourth edition, P. 568.
- Richard E. 2000. *Caves Creative Industries: Contracts Between Art and Commerce – Harvard University Press*, Cambridge, Massachusetts, and London, England. P. 454.

**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

**Юрий Сергеевич Бегма**, кандидат экономических наук, доцент, советник компании BBGroup, г. Москва, Россия

**Yurii S. Begma**, Candidat of Economic Science, Associate Professor, adviser of the BBGroup company, Moscow, Russia

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

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



УДК 330.1

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-474-482

## Новый технологический уклад и российская экономика

<sup>1</sup> Григорьев Е.А., <sup>1,2</sup> Варакса А.М.

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет водного транспорта  
Россия, 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33

<sup>2</sup> Новосибирский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»  
Россия, 630099, Новосибирск, ул. Каменская, 56  
E-mail: e.grigorev@inbox.ru, anny.v@rambler.ru

**Аннотация.** Технологическое развитие за последние 20–25 лет сделало колоссальный прорыв, который постепенно приводит к полной перестройке всей мировой экономики и к изменению условий проживания всех жителей Земли. Этот прорыв представляет собой четвертую промышленную революцию, совместившую технологии цифрового, химического и физического прогресса. Поскольку это явление – принципиально новое как в общественной, так и в экономической жизни цивилизации, его осмысление и анализ только начинаются. Поэтому рассмотрение изменения технологического уклада с позиции экономических интересов России представляется нам весьма актуальным и нужным. Целью исследования выступает анализ нового технологического уклада и перспективы российской экономики на фоне этого процесса. В статье анализируются работы современных европейских и российских авторов по вопросу шестого технологического уклада. В статье указываются главные характеристики технологических укладов и даётся описание нового уклада. Рассматриваются основные факторы хозяйственной жизни, которые непосредственно влияют на экономическое развитие России, а также исследуется влияние этих факторов на функционирование отечественной экономики. В ходе исследования подвергается сомнению тезис, что Россия традиционно отставала в инновациях, и обосновывается, как национальная экономика может вписаться в шестой технологический уклад. Подчеркивается важность военно-промышленного комплекса для инновационного роста. С учётом всех рассмотренных факторов делается вывод, что у России есть предпосылки, чтобы вписаться в мировую экономическую систему нового технологического уклада.

**Ключевые слова:** технологическое развитие, цифровая экономика, гуманитарно-технологическая революция, промышленная революция, элементная база, искусственный интеллект, российская модель экономического развития

**Для цитирования:** Григорьев Е.А., Варакса А.А. 2022. Новый технологический уклад и российская экономика. Экономика. Информатика, 49(3): 474–482. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-474-482

---

## The New Technological Order and the Russian Economy

<sup>1</sup> Evgeny A. Grigoriev, <sup>1,2</sup> Anna M. Varaksa

<sup>1</sup> Siberian State University of Water Transport  
33 Shchetinkina St, Novosibirsk, 630099, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk technological Institute (branch) «Russian state University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art)»  
56 Kamenskaya St, Novosibirsk, 630099, Russia  
E-mail: e.grigorev@inbox.ru, anny.v@rambler.ru

**Abstract.** Industrial development has made a great breakthrough for the last 20 years. It leads to a restructuring of the global economy and is changing civic life. It is the fourth industrial revolution which connects technologies of digital, chemical, and physical progress. This is a new phenomenon in science. Thus, it needs to be researched. This contemplation is also important for the Russian economy. The purpose of this research is to

analyze the new technologies, the order of new pattern and study the prospects for the Russian economy in this situation. The approaches of modern European and Russian authors on the issue of the sixth technological pattern are discussed. The main characteristics of technological patterns and features of the sixth pattern are given in the paper. The paradigm of Russian National economy is also considered. The proofs are given that Russian economy is not always a laggard. The importance of the military-industrial complex for innovative growth is emphasized. Considering all the factors considered, it is concluded that Russia has the prerequisites to fit into the global economic system of the new technological order.

**Keywords:** technological development, digital economy, humanitarian-technological revolution, industrial revolution, element base, artificial intelligence, Russian pattern

**For citation:** Grigoriev E.A., Varaksa A.A. 2022. The New Technological Order and the Russian Economy. Economics. Information technologies, 49(3): 474–482 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-474-482

## Введение

В конце XX века средства массовой информации начали использовать понятия «информационное общество», «цифровая экономика». За последние 20 лет эти слова не только вошли в наш обиход, но и стали объективной реальностью для 7 миллиардов человек населения Земли. Концепция современной цифровой экономики плотно вошла не только в науку, но и в жизнь. Сейчас непросто представить, что концепция эта – новая, хотя её теоретические разработки начались еще в середине XX века, но 50–60 лет для науки – не срок.

Сам факт технологического прогресса ни у кого не вызывает вопросов. Мы привыкли к техническим нововведениям, к ускоряющейся смене средств производства, к росту объемов информации и прочему. Но это не суть, а наглядный результат информационной революции. Ее же глубинное значение для экономики и общества по-прежнему остается недооцененным. Поскольку смена технологического уклада полностью трансформирует современную цивилизацию, вопрос появления информационного общества представляется нам крайне актуальным как в теоретическом плане, так и в практическом аспекте.

Цель нашей работы – определить, какие перспективы имеет современная российская экономика в эпоху шестого технологического уклада. Для этого мы рассмотрим теорию базиса и надстройки, проанализируем историю развития технологических укладов, дадим подробную характеристику шестого уклада, укажем специфику российской системы хозяйствования и сделаем итоговые выводы.

Теория технологических укладов связана с марксистской теорией способа производства. Как известно, Карл Маркс исходил из того, что развитие производительных сил приводит к изменениям в производственных отношениях, что ведет за собой смену способа производства. Способ производства, в свою очередь, полностью трансформирует надстройку: социальную, политическую, культурную и прочие сферы общественной жизни. Говоря проще, экономическое развитие осуществляется по алгоритму: сначала совершается научное открытие, которое имеет экономическое применение, происходит его внедрение в производство и коммерциализация, после чего меняются управленческие отношения, а вслед за ними и общественные отношения в целом. На этой основе Н.Д. Кондратьев создал теорию Больших циклов конъюнктуры [Кондратьев, 2002]. При этом он обращал внимание, что технические новшества ведут за собой не только экономический подъем, но и социальные потрясения – войны, революции, народные волнения. Это вполне объяснимо психологически: среднестатистический человек не склонен к восприятию изменений, и при внедрении новых технологических психика не сразу их признает. На практике внедрение инноваций встречает сопротивление со стороны многих работников, причем сила этого сопротивления зависит от страны и региона – в России, например, оно будет сильнее, чем в европейских странах. Новый технологический уклад зачастую совпадает с началом новой волны большего цикла Кондратьева.





Технологический уклад в широком смысле можно определить как обустройство экономики на конкретном этапе развития производительных сил. Иными словами – это определенный технический уровень, диктующий использование конкретных ресурсов для производства строго определенной продукции [Андреева, 2016]. Технологический уклад также характеризуют как экономическую эпоху, обусловленную определенным уровнем развития техники и технологии, с четко установленным уровнем развития энергетики, информационной системы, транспортной инфраструктуры, с соответствующей финансовой системой и с организационно-правовыми формами. Кроме того, технологический уклад в интернет-ресурсах определяется как совокупность сопряженных производств, имеющих единый технический уровень и развивающихся синхронно.

## **Результаты и их обсуждение**

### **Техническое развитие и его влияние на экономику и общество**

На сегодняшний момент настаёт шестой технологический уклад. Напомним, что первый уклад наступил при изобретении ткацкого станка, что повлекло массовую механизацию, создание мануфактур и переход к рынку (капитализму). В качестве источника энергии использовались водные объекты. Преобладал водный транспорт, альтернативные способы передвижения на тот момент еще не появились. В мировой денежной системе еще господствовал биметаллический стандарт, поэтому международные расчеты проводились беспрепятственно, как правило, посредством золота.

Началом второго уклада стало изобретение парового двигателя. Это позволило значительно укрупнить производство. Следовательно, основным источником энергии стал уголь. Третий технологический уклад, названный по электродвигателю (использование электроэнергии), в организационном плане повлек создание транснациональных корпораций, а следовательно – значительную концентрацию производства и монополизацию. При нем большой рывок произошел в развитии транспорта: перевозки на большие расстояния стали доступными для бизнеса, как результат, фирмы стали производить товары на экспорт, увеличивая объемы внешней торговли. При этом в мировой системе денежного обращения произошел переход от биметаллического стандарта к кредитным деньгам (Парижская и Генуэзская валютные системы). Этот этап В.И. Ленин называл империализмом, и это название до сих пор опровергнуть не удалось.

Четвертый технологический уклад характеризуется массовым внедрением двигателя внутреннего сгорания, он связан с развитием атомной энергетики и созданием искусственных материалов. Межконтинентальный транспорт становится обыденным и доступным, развивается самолетостроение. В финансовом отношении наблюдается экспансия доллара США после Второй мировой войны при Бреттон-Вудской системе.

Пятый технологический уклад – это этап микроэлектроники, освоения космоса. А также это этап создания не только искусственных материалов, но и искусственных продуктов питания. На нем резко возрастает число экологических проблем, в массовое сознание вводится концепция устойчивого развития (sustainable development, или на научном сленге – Рио-92). Глобализация становится новой реальностью, что проявляется и в финансовой системе, которая становится глобальной: изобретают электронные деньги, создаются платежные системы, действующие в разных странах, происходит демонетизация золота [Козлов и др., 2018, Глущенко, 2020]. Ядром пятого технологического уклада считается электронная промышленность. Роль коммуникаций возрастает еще сильнее, транспорт становится общедоступным как для бизнеса, так и для домашних хозяйств.

### **Шестой технологический уклад**

Шестой технологический уклад по предварительным данным начинается с 2010 года. В его рамках основной упор делается не только на развитие информационных технологий, но

и на их 100-процентное использование и повсеместное внедрение, когда главная цель заключается в интегрированном управлении производством [Вдовина, 2019].

Резюмировав рассуждения основателя Давосского форума и по совместительству – идеолога четвертой промышленной революции К.М. Шваба, можно дать такое определение. Шестой технологический уклад – это технологический прорыв во всех отраслях экономики и в сферах общественной жизни, который предоставит всем гражданам планеты «неограниченные возможности, в котором миллиарды людей связаны между собой мобильными устройствами, открывающими беспрецедентные горизонты в сфере обработки и хранения информации и доступа к знаниям», это переход к «интернету вещей», тотальное использование искусственного интеллекта и «переплетение технологий из мира физики, биологии и цифровых реалий» [Шваб, 2016].

Можно определить материально-техническую базу нового уклада, или, как ее называют на новый лад, физический блок и его главные мегатренды.

1. Многообразные беспилотные транспортные средства, включая воздушные и подводные дроны, а также беспилотные автомобили [Козлов и др., 2018].

2. 3D-принтеры, которые создают трехмерные предметы по цифровому шаблону из сырого материала. Область их применения не ограничивается бытовыми предметами. Более того, идет разработка 4D-принтеров, которые будут печатать «умные материалы» [Вдовина, 2019].

3. «Умные материалы», имеющие прочность на порядок выше, чем те, которые использовались при пятом техукладе, (например, графен). Они имеют высокие эксплуатационные характеристики, при этом экологически чистые, обладают памятью возврата к исходной форме и/или самоуничтожающиеся.

4. Цифровой блок и /или «Интернет всех вещей». Говоря проще – это осуществление всех коммерческих операций через сеть Интернет.

5. Инновации в генетике, а затем – синтетическая биология [Шваб, 2016].

В настоящее время мы уже живем в этой реальности, а пандемия 2020–2021 годов ускорила ее внедрение в бытовую жизнь для всего населения Земли.

Г.Г. Малинецкий выделяет со ссылкой на Клауса Мартина Шваба следующие характерные черты нового технологического уклада:

- 1) наличие триллиона датчиков, подключенных к сети Интернет;
- 2) появление имплантируемого телефона;
- 3) использование технологии блокчейн для сбора налогов и решения прочих финансовых вопросов;
- 4) активное использование роботов с искусственным интеллектом, в том числе и в топ-менеджменте [Малинецкий, 2018; Шваб, 2016].

А.А. Вдовина характеризует новый уклад с позиции полной трансформации системы управления и включает в перечень интегрированного управления производством следующие элементы: [Вдовина, 2019]

- IoT-технологии (англ. «internet of things» – интернет вещей), то есть совокупность компьютерных сетей и подключенных объектов для сбора и обмена данными в режиме non-stop;
- облачные технологии (англ. «cloud storage») позволяют размещать и хранить тяжелые информационные файлы;
- предиктивную (предсказательную) аналитику – для прогнозирования поведения объектов. В отличие от имеющихся ранее способов планирования, в шестом ТУ нужен будет прогноз работы техпроцессов: безлюдные технологии, робототехника, безлюдное добычное оборудование, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и др.;
- достижения молекулярной биологии;
- систему демонстрации смешанной реальности (виртуального и реального);
- аддитивные технологии (от англ. «additive» – добавочный), примером которых может быть упомянутая 3D-печать [Малинецкий, 2019].



В организационном плане, по мнению Шваба, будет полностью переосмыслена и переделана система управления на всех уровнях: на макроуровне само государство станет атавизмом, оно перестанет существовать – по крайней в той ее форме, которую мы знаем. На уровне фирм и компаний начнется образование глобальных компаний: автор напрямую не пишет, что малый и средний бизнес перестанет существовать, но при прочтении книги такая мысль возникает. Название «ТНК» станет некорректным, и транснациональные корпорации станут называть просто глобальными [Шваб, 2020].

На наш взгляд следует отметить, что изначально создание технологического уклада на основе второй цифровой революции задумывалось для решения гуманистических задач. Так, еще в 1947 году Н. Винер писал, что с внедрением новой техники работа человеческого мозга будет обесцениваться. В этой ситуации люди средних способностей могут остаться вне рынка – а значит без средств к существованию. Поэтому «Выход один – построить общество, основанное на человеческих ценностях, отличных от купли-продажи» [Винер, 1958]. Но к настоящему времени мы видим, что по-прежнему существует приоритет прибыли над любыми социальными проектами. А новый уклад позволяет всё более и более увеличивать доходы, но только для самых богатых предпринимателей в мире.

Технологические изменения повлекут не только трансформацию систем управления как на микро-, так и на макроуровнях, но и изменяют каждодневное поведение людей. В повседневной жизни это может быть наличие цифровой одежды или одежды и аксессуаров, подключенных к глобальной сети, документы станут электронными, все виды финансовых расчетов тоже будут осуществляться через глобальную сеть и оставлять электронный след. Производство потребительских товаров значительно упростится: их станут печатать на 3D-принтерах. Так, например, «напечатанный» таким образом автомобиль готовится выпускать к 2025 году [Шваб, 2020].

Кроме того, различными авторами на протяжении уже 20 лет высказываются опасения, что цифровая революция приводит к тотальному контролю за людьми. При этом осуществляется не только экономический контроль, но доступной становится и частная жизнь подавляющего большинства граждан. Это идет вразрез с общепризнанными ценностями западного мира. Пока эта проблема остается открытой. Нам видится два варианта ее решения: первый – смена идеологии, появление новой парадигмы, по которой частная жизнь перестанет быть закрытой. Это соответствует многим антиутопиям XX века (например, Замятин Е.И., роман «Мы», Крапивин В.П. «Гуси-гуси га-га-га», и, конечно, Оуэлл Д. «1984»). Вторым вариантом, в духе существующего технологического уклада – это создание «антирадаров», новых гаджетов, способных к уничтожению электронных следов.

Итак, сделаем промежуточные выводы. Шестой технологический уклад выступает объективной реальностью, и информационные технологии в настоящее время не просто активно внедряются в экономику в интересах бизнеса, а массово используются всем населением планеты [Глушенко, 2020]. Новые технологии повлекли за собой изменения производственных отношений и значительные перемены в системе управления.

### **Специфика национальной экономики России**

Таким образом, для нас с особой остротой встает вопрос: а каково место России в условиях шестого технологического уклада? Этот вопрос можно разделить на части: 1 – создание собственных инноваций; 2 – внедрение достижений цифровой революции и временной лаг, измеряющий промежуток от массового внедрения их в промышленно развитых странах до массового внедрения в РФ; 3 – техническая обособленность и самостоятельность российской экономики; 4 – массовое производство продукции нового поколения (где, в каком объеме?); 5 – смена организационно-управленческих отношений; 6 – роль государства при шестом технологическом укладе в РФ.

Следует отметить, что каждая страна имеет свой алгоритм экономического развития и свою национальную специфику функционирования народного хозяйства. Она формируется

на протяжении столетий или даже тысячелетий. Поэтому, чтобы описать инновационное развитие российской экономики в соответствии с шестым укладом, на наш взгляд, целесообразно указать особенности российской экономической системы.

Не секрет, что наша страна относится к странам второго эшелона модернизации, для России свойственна догоняющая модель экономического развития [Школьников, 2020]. Это связано с изначально экстенсивным типом экономического роста. Исторически страна располагалась на большой территории, не вела захватнических войн и не испытывала острой нехватки в экономических ресурсах. По крайней мере, в такой степени, как страны Западной Европы. Поэтому для расширения производства и для удовлетворения потребностей достаточно было использовать большее количество ресурсов без изобретения новых материалов и техпроцессов. Вполне закономерно, что такие возможности не давали стимула для интенсивного роста.

Современными специалистами по особенностям российской экономики выступают И.Д. Афанасенко, А.В. Бузгалин, С.Ю. Глазьев, В.Т. Рязанов и другие. По мнению И.Д. Афанасенко, национальное хозяйство объединяет четыре начала: природно-климатическое, духовно-нравственное, непосредственно экономическое и организационно-правовое [Афанасенко, 2008а]. Природное начало выступает основополагающим, так как хронологически является первым. Каково его влияние в России? Во-первых, достаточно суровый климат требует больших энергозатрат. Во-вторых, преимущественно равнинные ландшафты, пригодные для сельского хозяйства, создавали благоприятные условия для производства продуктов питания. В-третьих, большое количество внутренних водоемов способствовали развитию водного транспорта. Четвертое – это обилие земельных ресурсов. И.Д. Афанасенко указывает, что на каждого жителя России приходится 11,7 условной единицы природно-энергетических ресурсов, в США – 2, в Западной Европе – 0,67 [Афанасенко, 2008b]. Поэтому для расширения производства просто использовалось больше земель. Следствием таких природных условий для России стала догоняющая модель экономического развития. Антиподом проявила себя в XX веке Япония – рост населения, приведший к острому дефициту, стал стимулом для перехода к интенсивному типу экономического роста. Сначала Япония это сделала за счет активного внедрения достижений НТП, затем – благодаря собственным научным открытиям и массовому внедрению инновационной продукции.

Возникает вопрос: следует ли из этого, что Россия всегда будет технологически отставать? Нет. Большая территория, помимо преимуществ, имеет и существенный недостаток: она требует значительных затрат для охраны границ и для защиты от внешних интервенций. Значит, необходимо иметь качественное вооружение, а для этого нужно развивать военную промышленность. Именно эта отрасль в нашей стране традиционно является высокотехнологичной, а тот факт, что страна существует более тысячи лет, доказывает, что военная промышленность всегда была инновационной и самой развитой в мире. Это можно легко проследить, изучая историю российской экономики. Один только пример: во второй половине XX века приоритетами советской науки были атомный и космический проекты, оба – разрабатывались в целях национальной безопасности. В результате первое направление дало начало атомной энергетике, второе способствовало развитию межконтинентального транспорта – то есть они имели и «мирные» области применения [Варакса, Залесова, 2019].

Отраслью, важной для национальной безопасности, является и транспортная отрасль, которой в стране уделялось (и уделяется) внимание на государственном уровне. Даже строительство «Великого сибирского пути» (Трассиба) имело первоначально не коммерческое назначение, а осуществлялось именно в целях безопасности, для быстрой переброски людей и грузов, для защиты границы [Варакса, Григорьев, 2019]. Однако, на взгляд автора, говорить об опережающем развитии российской экономики, как это делает С.Ю. Глазьев, излишне оптимистично [Глазьев, 2019].

Итак, первое начало хозяйства – природные условия – привели к формированию экстенсивного типа экономического роста, но способствовали созданию высокотехнологического вооружения.



Второй аспект – нравственный. Мораль и религия оказывают определенное влияние на создание частного и общественного богатства. Если мы посмотрим на наиболее развитые страны (США, Западная Европа Австралия), там продолжительное время существует правило: «Нравственно всё, что приносит прибыль». Неудивительно, что такой подход позволяет достигнуть феноменальных экономических успехов. В нашей стране традиционно накопление богатства не было самоцелью – богатым людям завидовали, но не уважали. Уважением пользовались мудрецы и святые. Не углубляясь в детали, просто отметим, что существующая в нашей стране мораль не способствует максимизации прибылей, и как следствие – не приводит к развитию экономики.

Наконец, организационно-правовые отношения. Они появляются значительно позже – в период развития капитализма, и включают систему институтов, в первую очередь формальных, а также качество их исполнения. Говоря в терминах технологического уклада, это – изменение управленческих отношений, закрепленных законодательно и/или сложившихся неформально. Отечественные ученые более 20 лет обращают внимание на неразвитость российских институтов, а также на факт несоблюдения правовых норм. Таким образом, четвертое начало хозяйства также не способствует инновационному развитию.

Говоря о теории хозяйства, целесообразно выделить ещё некоторые особенности национальной экономики России. Известный физик Н.Н. Моисеев обращал внимание, что «огромную роль в судьбе (народа) всегда играл прорыв!»! Наша страна может в минимальные сроки сделать колоссальный экономический рывок [Моисеев, 1999]. При этом у нас всегда могли индуцировать идеи, в том числе высокотехнологичные. В этом Никита Николаевич видел не только преимущество, но и последнюю надежду для России.

И, очевидно, наше описание хозяйствования России будет неполным без упоминаний В.Т. Рязанова, наверное, главного специалиста именно по российской экономике. Этой теме у В.Т. Рязанова было посвящено две монографии, и пересказать его в одном абзаце невозможно. Очень кратко отметим следующее. В известном споре по поводу того, к кому наша русская цивилизация ближе: к западной или к восточной, Рязанов дает красивый ответ: Россия – цивилизация севера. И наша система хозяйствования поэтому не может быть ни западной, ни восточной, ибо близость полюса сформировала особую самобытную систему. Одним из следствий этого стало формирование «северного» менталитета. Он состоит в том, что люди предпочитают коллективную деятельность, минимизируют ответственность и несклонны к выражению инициативы (словосочетание «инициатива наказуема» – непонятно в большинстве стран мира). Вследствие этого складываются нелиберальные условия хозяйствования, возрастает значение властных структур [Рязанов, 2009]. Еще одно значительное обстоятельство для нашей экономики – огромное значение играет элита. Элита, в свою очередь, не живет интересами своего народа, но весьма чувствительна к мнению иностранных элит. Этот фактор имеет неблагоприятные последствия для экономического развития.

### Заключение

Исходя из вышесказанного, мы можем охарактеризовать место России в условиях шестого технологического уклада следующим образом.

1. Создание собственных инноваций, соответствующих второй цифровой революции, представляется маловероятным для коммерческих целей. Однако есть инновационные проекты в военной сфере. Применение некоторых возможно для удовлетворения потребительских нужд (например, знаменитая система ГЛОНАСС).

2. Внедрение достижений цифровой революции в российской экономике постепенно осуществляется, при этом временной лаг, измеряющий промежуток от массового внедрения их в промышленно-развитых странах, до массового внедрения в РФ – уменьшается.

3. Техническая обособленность и самостоятельность российской экономики в настоящее время вряд ли реальна. По меткому выражению Г.Г. Малинецкого, наиболее прибыльные высокотехнологичные сегменты рынка представляют собой в основном рудименты советской науки [Малинецкий, 2018].

4. Продукция нового поколения в России производится в незначительном количестве.

5. Система организационно-управленческих отношений меняется. Но формирования качественно новых институтов пока не произошло.

6. Роль государства при шестом технологическом укладе в РФ по-прежнему остается значительной. С учетом специфики отечественной экономики это в определенной степени хорошо: именно государство стимулирует инновации в интересах ВПК, предлагая госзаказы. Также в целях национальной безопасности частично контролируется транспортная система, и, кроме того, имеют место государственные инвестиции в транспортные инновации.

В итоге мы видим, что несмотря на кажущуюся технологическую отсталость отечественной экономики, у России есть реальные предпосылки для того, чтобы вписаться в мировую экономику нового технологического уклада. Преодоление хозяйственных проблем в кратчайшие сроки, т. е. «прорыв» – это характерная черта российской экономики, о чем свидетельствует исторический опыт.

### Список источников

- Андреева М.Е. 2016. Технологические уклады современной экономики: Текст лекций. Екатеринбург, 175 с.
- Шваб Клаус Мартин. 2016. Четвертая промышленная революция. М, «Эксмо», 208 с.
- Шваб К., Маллере Т. 2020. COVID-19: Великая перезагрузка. Выпуск 1.0. Всемирный экономический форум, 91–93. Route de la Capite CH-1223 Колоньи. Женева Швейцария.

### Список литературы

- Афанасенко И.Д. 2008. Россия как самостоятельная культурно-этническая цивилизация. Вестник Российского государственного университета им. Канта, 3: 7–13.
- Афанасенко И.Д. 2008. Хозяйство с неоднородной экономической структурой. Известия СПбГУЭФ, 3: 7–15.
- Варакса А.М., Григорьев Е.А. 2019. Значение транссибирской магистрали для развития отечественной промышленности начала XX века. Транспортное дело, 3: 11–12.
- Варакса А.М., Залесова Д.Р. 2019. Возможность перехода российской экономики к инновационной системе развития в условиях современного экономического кризиса. Актуальные вопросы развития инновационной экономики: Материалы V Всероссийской научной конференции. Великий Новгород, Изд-во НовГУ, 76–80.
- Винер Н. 1958. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. М, Советское радио, 344 с.
- Вдовина А.А. 2019. Понятие «технологический уклад» в системе экономических категорий и новые технологические уклады общественного развития. Креативная экономика, 13(4): 605–618.
- Глазьев С.Ю. 2019. Приоритеты опережающего развития российской экономики в условиях смены технологических укладов. Экономическое возрождение России, 2(60): 12–16.
- Глущенко В.В. 2020. Задачи общей теории технологических укладов, Kazakhstan Science Journal, 2(15): 60–74.
- Козлов П.А., Тушин Н.А., Колокольников В.С. 2018. Проблема организации единой транспортной системы. Современные информационные технологии и ИТ-образование, 3.
- Кондратьев Н.Д. 2002. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. М, Экономика, 768 с.
- Малинецкий Г.Г. 2018. Блеск и нищета цифровой реальности. Научные труды вольного экономического сообщества России, 210(2): 44–62.
- Малинецкий Г.Г. 2019. Перспективы и риски цифровой реальности. Системный анализ в проектировании и в управлении, Сборник научных трудов: 56–80.
- Моисеев Н.Н. 1999. Агония. Свободная мысль, 5: 15–23.
- Рязанов В.Т. 2009. Хозяйственный строй России: на пути к другой экономике. СПб, Изд-во СПбГУ, 162 с.
- Школьников А.Ю. 2020. Национальные стратегии: геостратегический взгляд на будущее мира и России. СПб, Corvus, 544 с.

### References

- Afanasenko I.D. 2008. Russia as an independent cultural and ethnic civilization. Bulletin of the Russian State University. Kant, 3: 7–13 (in Russian).



- Afanasenko I.D. 2008. Hozyajstvo s neodnorodnoj ekonomicheskoy strukturoj [An economy with a heterogeneous economic structure]. *Izvestiâ Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo èkonomičeskogo universiteta*, 3: 7–15.
- Varaksa A.M., Grigoriev E.A. 2019. Significance of the Trans-Siberian Railway for the development of domestic industry in the early twentieth century. *Transport business*, 3: 11–12 (in Russian).
- Varaksa A.M., Zalesova D.R. 2019. *Vozmozhnost' perekhoda rossiyskoy ekonomiki k innovatsionnoy sisteme razvitiya v usloviyakh sovremennogo ekonomicheskogo krizisa* [Possibility of the transition of the Russian economy to an innovative development system in the current economic crisis]. *Aktual'nyye voprosy razvitiya innovatsionnoy ekonomiki: Materialy V Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii. Veliky Novgorod, Novgorod State University*, 76–80.
- Wiener N. 1958. *Cybernetics or Control and Communication in Animal and Machine*. M, Soviet radio, 344 p. (in Russian).
- Vdovina A.A. 2019. The concept of "technological mode" in the system of economic categories and new technological modes of social development. *Creative economy*, 13(4): 605–618 (in Russian).
- Glazyev S.Yu. 2019. Priorities for the rapid development of the Russian economy in the context of changing technological patterns. *Economic Revival of Russia*, 2(60): 12–16 (in Russian).
- Glushchenko V.V. 2020. Tasks of the general theory of technological modes, *Kazakhstan Science Journal*. 2(15): 60–74 (in Russian).
- Kozlov P.A., Tushin N.A., Kolokolnikov V.S. 2018. The problem of organizing a unified transport system. *Modern information technologies and IT education*, 3 (in Russian).
- Kondratiev N.D. 2002. *Large conjuncture cycles and the theory of foresight*. M, Economics, 768 p (in Russian).
- Malinetsky G.G. 2018. Shine and poverty of digital reality. *Scientific works of the free economic community of Russia*, 210(2): 44–62 (in Russian).
- Malinetsky G.G. 2019. Prospects and risks of digital reality. *System analysis in design and management, Collection of scientific papers*, 56–80 (in Russian).
- Moiseev N.N. 1999. *Agony. [Agoniya]. Svobodnaya mysl'*, 5:15–23.
- Ryazanov V.T. 2009. *The economic system of Russia: on the way to another economy*. St. Petersburg, St. Petersburg State University, 162 p (in Russian).
- Shkolnikov A.Yu. 2020. *National Strategies: A Geostrategic View of the Future*. World and Russia. St. Petersburg, Corvus, 544 p (in Russian).

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

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

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Григорьев Евгений Алексеевич**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики предпринимательской деятельности, проректор по учебной работе, Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия

**Варакса Анна Михайловна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры философии, истории и права, Сибирский государственный университет водного транспорта, доцент кафедры экономики и управления, Новосибирский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», г. Новосибирск, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Evgeny A. Grigoriev**, Candidate of economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Business Economics, Vice-Rector for Academic Affairs of the Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

**Anna M. Varaksa**, Candidate of economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Philosophy, History and Law of the Siberian State Water Transport University, Associate Professor of the Department of Economics and Management of Novosibirsk technological Institute (branch) «Russian state University named after A. N. Kosygin (Technologies. Design. Art)», Novosibirsk, Russia

УДК 330.14  
DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-483-493

## Исследование зарубежных методических подходов к оценке человеческого капитала

<sup>1</sup> Кулик А.М., <sup>1</sup> Герасимова Н.А., <sup>2</sup> Когтева А.Н.

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

<sup>2</sup> Академия труда и социальных отношений

Россия, 119454, г. Москва, ул. Лобачевского, д. 90

E-mail: kulik@bsu.edu.ru, ngerasimova@bsu.edu.ru, annelya1@yandex.ru

**Аннотация.** В данной статье представлено исследование зарубежных методических подходов к оценке человеческого капитала. Рассмотрен подход к оценке человеческого капитала американского исследователя Г. Беккера; продемонстрирована классификация методов оценки человеческого капитала с точки зрения литовского политика А. Сакаласа; отмечены исследования Я. Фитц-енца, который предложил простую модель с гибким инструментом для оценки человеческого капитала. Помимо указанного, в работе дана подробная сравнительная характеристика категорий оценки человеческого капитала на основании эксперта в сфере управления знаниями Карла-Эрика Свейби. Представленные методики дают возможность определить позиции по отдельным показателям, которые характеризуют уровень развития человеческого капитала. Исследуемая совокупность методик оценки человеческого капитала с точки зрения зарубежного опыта не раскрывает в полной мере применение современных факторов, влияющих на формирование и развитие человеческого капитала. Представлен методический подход к группировке регионов на соответствие показателям условий пространственного распределения человеческого капитала.

**Ключевые слова:** человеческий капитал, методика оценки, составляющие методики оценки человеческого капитала, индексы оценки человеческого капитала, модель индивидуальной стоимости работника

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

**Для цитирования:** Кулик А.М., Герасимова Н.А., Когтева А.Н. 2022. Исследование зарубежных методических подходов к оценке человеческого капитала. Экономика. Информатика, 49(3): 483–493. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-483-493

---

## Research of Foreign Methodological Approaches to the Assessment of Human Capital

<sup>1</sup> Anna M. Kulik, <sup>1</sup> Natalija A. Gerasimova, <sup>2</sup> Anna N. Kogteva

<sup>1</sup> Belgorod National Research University,  
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

<sup>2</sup> Academy of Labor and Social Relations  
90 Lobachevsky St, Moscow, 119454, Russia

E-mail: kulik@bsu.edu.ru, ngerasimova@bsu.edu.ru, annelya1@yandex.ru

**Abstract.** This article presents a study of foreign methodological approaches to the assessment of human capital. The approach to the assessment of human capital by the American researcher G. Becker is considered; the classification of methods for assessing human capital from the point of view of the Lithuanian politician A. Sakalas is demonstrated. The research of J. Fitz-ents, who proposed a simple model with a flexible tool for assessing human capital, is noted. In addition to the above, the paper provides a





detailed comparative description of the categories of human capital assessment based on the expert in the field of knowledge management Karl-Eric Swaby. The presented methods make it possible to determine positions on individual indicators that characterize the level of human capital development. The studied set of methods for assessing human capital from the point of view of foreign experience does not fully disclose the application of modern factors affecting the formation and development of human capital. A methodological approach to grouping regions for compliance with the indicators of the conditions of spatial distribution of human capital is presented.

**Keywords:** human capital, assessment methodology, components of human capital assessment methodology, human capital assessment indices, employee individual value model

**Acknowledgements:** the research was carried out within the framework of the state assignment of NRU BelSU 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:** Kulik A.M., Gerasimova N.A., Kogteva A.N. 2022. Research of Foreign Methodological Approaches to the Assessment of Human Capital. Economics. Information technologies, 49(3): 483–493 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-483-493

---

## Введение

На современном этапе развития экономических отношений основным индикатором социально-экономического развития государства, предприятия, индивидуального предпринимателя и любого другого экономического субъекта становится человеческий капитал. Человеческий капитал – фактор интенсивного характера, который оказывает влияние на производственные процессы, что отражается на экономическом развитии субъекта. Значимость данной экономико-социальной категории также подтверждается увеличением числа исследований и общего роста научного интереса к теме изучения человеческого капитала и влияния, оказываемого им на процессы, происходящие в обществе.

Проявление большого интереса экономической науки к человеческому капиталу объясняется потребностью в оценке его эффективности. Человеческий капитал выступает фактором успешного экономического развития любого государства. Одной из фундаментальных проблем исследования вопросов человеческого капитала выступает сложность его оценки [Самусенко, 2015]. Существует большое количество методик, каждая из которых несет существенный вклад в развитие теории человеческого капитала и его оценку. Непосредственно оценка человеческого капитала связана с инвестиционными вложениями. Многие ученые считают, что к инвестиционным вложениям относят те затраты, которые направлены на формирование знаний, навыков. Другие ученые считают, что процесс накопления человеческого капитала, его оценка образуются за счет инвестиционных вложений в образовательный процесс, который необходим в дальнейшем для производственного процесса. Инвестиционные вложения в человеческий капитал должны приносить эффект производства и эффект потребления. За счет применения методики оценки человеческого капитала можно сформировать перечень достоинств человеческого капитала как важного фактора развития региона, что дает возможность определить условия эндогенного и экзогенного характера.

## Объекты и методы исследования

Западная экономическая литература характеризуется большим разнообразием методических подходов в оценке человеческого капитала [Васильева, 2010]. На основе данных, представленных в научно-экономической литературе, проведено исследование в рамках методики оценки человеческого капитала с точки зрения зарубежного подхода. В процессе данного исследования для решения поставленной задачи были использованы общенаучные диалектические методы исследования, системный подход, принцип рассмотрения явлений от общего к особенному и частному.

## Результаты и их обсуждение

Изучение зарубежных методических подходов целесообразно начать с исследований американского экономиста Г. Беккера, который рассматривал человеческий капитал как совокупность знаний, навыков и мотивации. Инвестиционные вложения в человеческий капитал, по его мнению, определяются затратами на образование, процессом накопления трудового опыта, затратами на здоровье, способностью воспринимать новую информацию [Кристинович, 2015]. Он предложил следующий подход к оценке человеческого капитала, формирующийся в расчете по следующей формуле:

$$Va = \sum_{i=a}^n (A-B) (1-i)^{-t}, \quad (1)$$

где  $a$  – возраст сотрудников;  $A$  – фонд заработной платы;  $B$  – доля оплаты труда;  $n$  – возраст выхода на пенсию;  $i$  – процентная ставка.

Следует подчеркнуть, что американская практика [Авакян, 2015] дает возможность рассмотреть ключевые подходы в оценке и учете человеческого капитала, рассмотрим их более наглядно на рисунке 1.

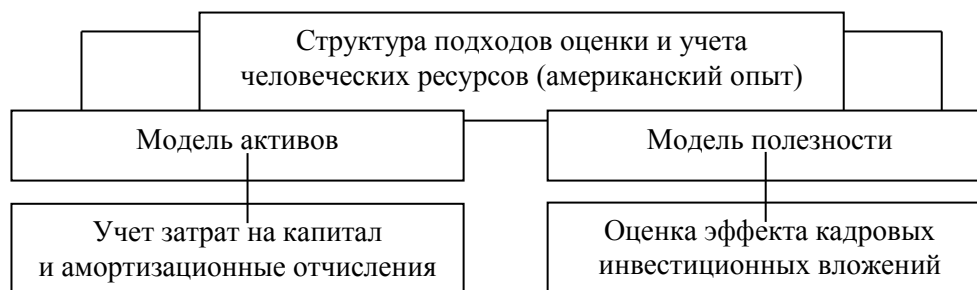


Рис. 1. Основные подходы к оценке и учету человеческих ресурсов  
Fig. 1. Basic approaches to the assessment and accounting of human resources

Следует сказать, что базой первого подхода, основывающегося на модели активов, является бухгалтерский учет. Он осуществляется в стандартной форме, однако – с использованием определённых особенностей, приспособленных для учета человеческих ресурсов. Под данными особенностями понимается создание специальных счетов учета, по которым записываются расходы на человеческий капитал, определение перспектив его развития и эффективной отдачи. Они могут рассматриваться как долгосрочные финансовые вложения или как финансовые потери.

Следующий вид модели – это модель полезности. Представленный вид позволяет провести оценку экономического влияния изменений в поведении сотрудников в процессе осуществления трудовой деятельности в основе конкретного мероприятия. Также за счет представленной модели полезности целесообразно оценить кадры, которые могут принести определенное значение суммы прибавочной стоимости.

Также необходимо обозначить, что существует множество вариантов оценки человеческого капитала с применением различных методик и методов. Отличился в данном аспекте со своими исследованиями Як Фитц-енц. На основании проведенных исследований ученый выделяет основные индексы оценки человеческого капитала (таблица 1).

С точки зрения американского ученого Лестера Карла Туроу, только рыночная стоимость может позволить измерить человеческий капитал. Отметим, что суть этого метода сводится к тому, что величина любого капитала выражается экономическими последствиями от его использования, а не ценой производства. Согласно модели Л. Туроу [Ришко, 2014], инвестиции в человеческий капитал аналогичны инвестициям в любую другую деятельность предприятия. По этому же принципу аналогичны процессы производства человеческого ка-

питала и производства товаров и услуг. При этом, по мнению Л. Туроу, имеется прямая связь между инвестициями в человеческий капитал и объемами его производства. Определение человеческого капитала с точки зрения литовского политика А. Сакалас звучит следующим образом: «совокупность знаний, приобретение соответствующих навыков, специфических умений и компетенций работников, которые являются источником экономического роста и создания конкурентных преимуществ страны и предприятия» [Авакян, 2015]. Наглядно предложенные методы представлены на рисунке 2.

Таблица 1  
Table 1

Индексы оценки человеческого капитала  
Human capital assessment indices

Наименование показателя	Методика расчета
Индекс прибыли человеческого капитала	значение прибыли / эквивалент рабочего времени сотрудника
Индекс стоимости человеческого капитала	расходная часть на рабочую силу / эквивалент полного рабочего времени сотрудника
Индекс доходов человеческого капитала	(значение прибыли – купленные услуги) / эквивалент полного рабочего времени сотрудника



Рис. 2. Группировка методов оценки человеческого капитала (Сакалас А.)  
 Fig. 2. Classification of methods for assessing human capital (Sakalas A.)

Многими исследователями, такими как И. Бен-Порэт, Дж. Р. Уолш был отмечен следующий важный момент: эффективность от инвестиционных вложений в образование превышает их рыночную стоимость [Соболева, 2009]. Объясняется это тем, что если работник имеет высокий уровень образования, то у него есть все шансы получить больше возможностей для творческой самореализации, то есть он имеет выгоду нематериального характера от капитальных вложений в собственное образование. Это включает в себя преимущество путешествовать, возможность длительного отпуска и генерировать необычные идеи, которые могут быть преимуществом перед конкурентами.

Известный эксперт в сфере управления знаниями Карл-Эрик Свейби представил полный обзор методов оценки интеллектуального капитала, в том числе и человеческого. Он представил двадцать пять методов измерения, сгруппированных в 4 категории, которые представлены на рисунке 3.



Рис. 3. Категории оценки человеческого капитала эксперта в сфере управления знаниями Карл-Эрика Свейби

Fig. 3. Categories of assessment of human capital of the expert in the field of knowledge management Karl-Eric Swaby

Анализируя полученные данные, можно сказать, что большинство исследований в области оценки человеческого капитала берут за свою основу количественные характеристики, не учитывая качественные [Кристиневич, 2015]. В качестве примера можно рассмотреть результаты работы экономиста Дж. Кендрика, который предложил метод оценки человеческого капитала при помощи статистического анализа данных. Вложения в человеческий капитал, по мнению Дж. Кендрика [Краковская, 2008], отображаются в затратах семьи на воспитание детей до достижения трудоспособного возраста, получения ими специальности, которая характеризуется вложениями на переподготовку, повышение квалификации, улучшения здоровья и прочее.

Составляющие оценки человеческого капитала по методике Дж. Кендрика представлены на рисунке 4.

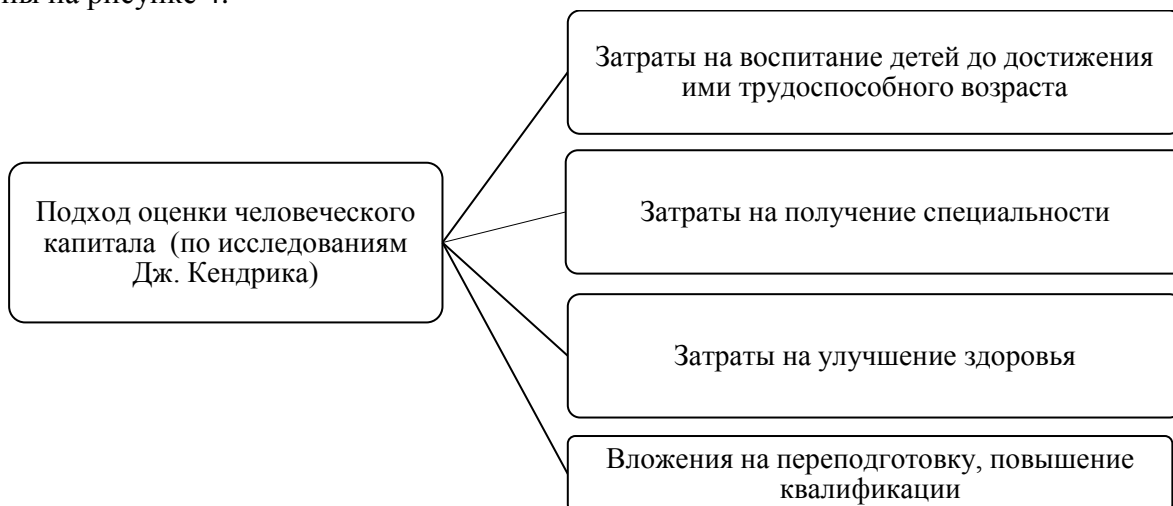


Рис. 4. Составляющие оценки человеческого капитала по методике Дж. Кендрика

Fig. 4. Components of the assessment of human capital according to the method of J. Kendrick

Одна из моделей оценки человеческого капитала появилась вместе с моделью индивидуальной ценности сотрудника, разработанной в Мичиганском университете. Представленная модель основана на категориях стоимости условного характера и реализуемого (рис. 5).

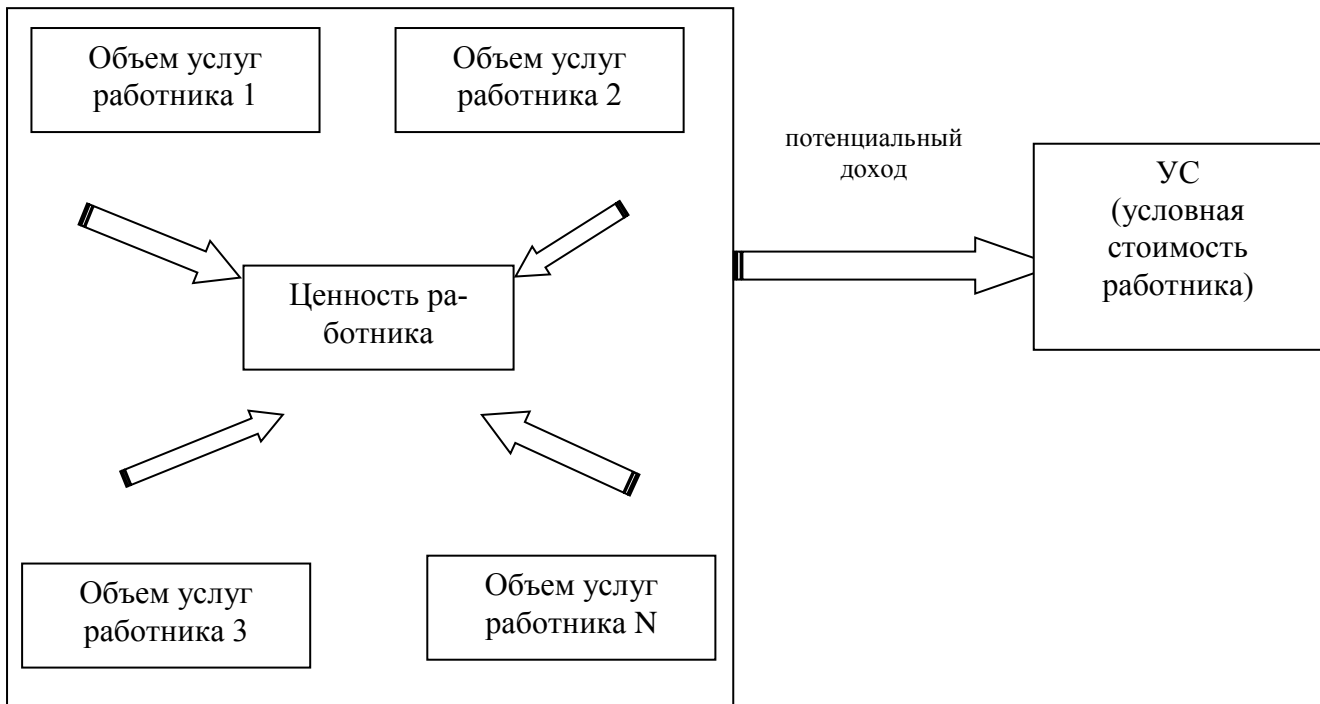


Рис. 5. Модель индивидуальной стоимости работника  
 Fig. 5. The model of the individual cost of the employee

Содержание этой модели включает в себя совокупность объемов услуг, которые работник предоставит, а также будет выполнять и продолжит их реализовывать. Ниже рассмотрим формулы для оценки человеческого капитала согласно модели индивидуальной стоимости работника:

$$PC = UC \times P(O), \quad (2)$$

$$P(T) = 1 - P(O), \quad (3)$$

$$АИТ = UC - C = PC \times P(T). \quad (4)$$

Здесь УС и РС – ожидаемые условная и реализуемая стоимость;

$P(O)$  – вероятность того, что работник останется работать в организации через некоторый промежуток времени;

$P(T)$  – вероятность ухода работника из организации или показатель текучести;

АИТ – альтернативные издержки текучести.

Рассмотрев зарубежные методики оценки человеческого капитала, представим в следующей таблице их достоинства и недостатки (таблица 2).

На основании проведенного исследования подчеркнем, что методики носят более традиционный характер. Целесообразно предложить учитывать группировки регионов на соответствие показателям условий пространственного распределения человеческого капитала в условиях цифровизации. Непосредственно для каждой территории (региона) характерны свои факторы, но в каждом из них существуют слабые стороны («проседание» развития человеческого капитала). Поэтому в оценке человеческого капитала целесообразно учитывать пространственные факторы, которые могут «проседание» человеческого капитала нейтрализовать. На основании проведенного исследования представим методический подход к группировке регионов на соответствие показателям условий пространственного распределения человеческого капитала в условиях цифровой трансформации (рисунок 6).

Таблица 2  
Table 2

Сравнительная оценка зарубежных методических подходов оценки человеческого капитала  
Comparative evaluation of foreign methodological approaches to human capital assessment

Методика оценки человеческого капитала	Достоинства методики	Недостатки методики
Методика Г. Беккера	Охватывает неравенство доходов не только от труда (по существу от человеческого капитала), но и от собственности (от полученных в дар или по наследству иных активов)	Не показана взаимосвязь качественных показателей с количественными, не определено, каким образом балльную оценку связать со стоимостью.
Методика Яка Фитц-енца	Применяется система сбалансированных показателей	Значение количественной оценки находится в зависимости от уровня условий деятельности компании, ее структуры задач, решаемых с помощью данных расчетов. Методика не адаптирована к отечественным организациям.
Группировка методов оценки человеческого капитала (Сакалас А.)	Простой механизм использования на практике, а также его универсальность как для макро, так или для микроуровня	Комплекс критериев выбирается индивидуально
Методика Карл-Эрик Свейби (методы прямого измерения интеллектуального капитала).	Универсальность для различных подразделений на предприятии. Результаты исследований, полученных на основании данных методов, являются более точными, в их основе лежат критерии, соответствующие конкретному случаю и специфике деятельности.	Выступают сложности, возникающие при необходимости сравнения результатов деятельности организаций или отделов, так как комплекс критериев оценки выбирается индивидуально. Относительная новизна данных методов вызывает недоверие в сравнении с привычными.
Методика Карл-Эрик Свейби (методы рыночной капитализации).	В основе лежит комплексная оценка, что делает показатели наиболее предпочтительными для использования в своей работе аналитиками.	Основаны на финансовой оценке, несмотря на их объемность и трудоёмкость анализа. В основе лежат критерии, соответствующие конкретному случаю и специфике деятельности.
Методика Карл-Эрик Свейби (методы отдачи на активы).	В основе лежит комплексная оценка, что делает их наиболее предпочтительными для использования в своей работе аналитиками.	Основаны на финансовой оценке, несмотря на их объемность и трудоёмкость анализа; присущи критерии, соответствующие конкретному случаю и специфике деятельности.
Методика Карл-Эрик Свейби (Методы подсчета очков).	Универсальность для различных подразделений на предприятии. Результаты исследований, полученных на основании данных методов, являются более точными, в их основе лежат критерии, соответствующие конкретному случаю и специфике деятельности.	Методика делает сравнение отделов или организаций практически невозможным. Выступают сложности, возникающие при необходимости сравнения результатов деятельности организаций или отделов, так как комплекс критериев оценки выбирается индивидуально. Относительная новизна данных методов вызывает недоверие в сравнении с привычными
Методика Дж. Кендрика	Удобная для США, где имеются обширные и достоверные статистические данные.	В отсутствии затрат, характерных для воспроизводства человеческого потенциала и процессу его накопления, нет возможности провести полную оценку его стоимости.
Модель индивидуальной ценности сотрудника, разработанная в Мичиганском университете	Универсальна для различных подразделений организации	Значение количественной оценки находится в зависимости от уровня условий деятельности компании, ее структуры задач, решаемых с помощью данных расчетов.

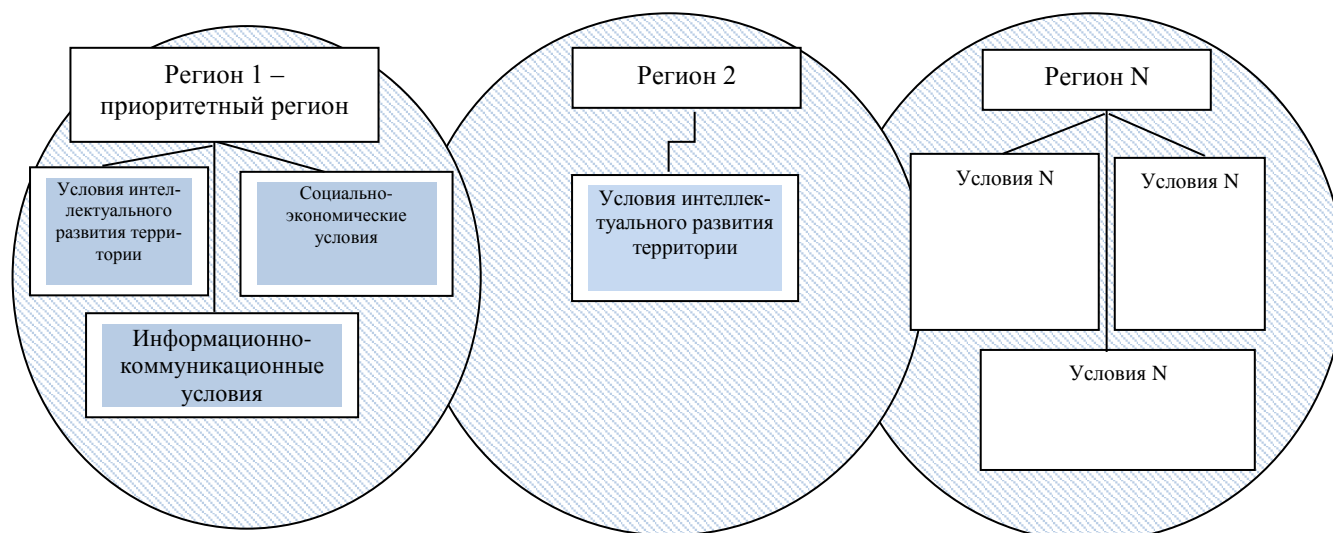


Рис. 6. Методический подход к группировке регионов на соответствие показателям условий пространственного распределения человеческого капитала

Fig. 6. Methodological approach to grouping regions according to the indicators of the conditions of spatial distribution of human capital

Представленный подход говорит о том, что целесообразно учитывать группировку регионов на соответствие показателям условий пространственного распределения человеческого капитала. Необходимость цифровой трансформации зарубежных регионов в современных условиях возрастает, особенно в последнее время, так как возрастает значимость дистанционного обучения и работы, торговли на интернет-площадках и так далее. В условиях неравномерного развития в регионах процессов цифровизации наблюдается их значительная дифференциация по уровню пространственного распределения человеческого капитала. Анализ показал, что наибольшая концентрация человеческого капитала наблюдается в регионах, где наблюдается достаточно высокий уровень интеллектуальных, социально-экономических и информационно-коммуникационных условий развития территорий. Проведение оценки основных показателей, характеризующих, к примеру, уровень интеллектуальных, социально-экономических и информационно-коммуникационных условий, позволит определить основные недостатки, которые имеет тот или иной регион, реализовать процессы сглаживания определенных неравенств, в том числе и цифровых, сделать территорию региона привлекательной для пространственного распределения человеческого капитала.

### Заключение

В ходе проведенного исследования были рассмотрены различные зарубежные методические подходы к оценке человеческого капитала. Кроме того, проведен анализ методологии оценки человеческого капитала, выявлены их достоинства и недостатки, а также определены области их применения и возможности совместного использования. По нашему мнению, каждый из рассмотренных подходов сделал значительный вклад в развитие методологии оценки человеческих ресурсов, при этом считаем целесообразным утверждение литовского политолога А. Сакаласа, который считает, что целесообразно и эффективно применение и комбинирование разнообразных методик оценки человеческого капитала. Следовательно, справедливо утверждать, что каждый из рассмотренных методов имеет свое применение на практике в зависимости от того, качественный или же практический характер носит оценка, а также от вида деятельности организации или структурного его подразделения. Следует отметить, что демонстрация системы показателей оценки человеческого капитала дает возможность в более легком формате провести его анализ за счет формализации и стандартизации исходных данных в разрезе его элементов, уровней, видов и стадий воспроизводства применительно к выявленным формам.

### Список литературы

- Авакян А.Г. 2015. Методы оценки стоимости человеческого капитала за рубежом. Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд, 33: 158–160.
- Васильева Е. 2010. Анализ методологических подходов к измерению человеческого капитала. Федерализм, 1: 89–96.
- Добрынин А.И., Дятлов С.А., Цыренова Е.Д. 1999. Человеческий капитал в транзитивной экономике: формирование, оценка, эффективность использования. СПб.: Наука, 308 с.
- Кириянов Д.А., Сухарева Т.Н. 2011. Методы оценки человеческого капитала: анализ объективности и достаточности исходных данных. Теория и практика общественного развития, 3: 337–340.
- Кондаурова И.А. 2016. Идентификация проблем формирования и использования человеческого капитала в контексте инновационного развития. Друкеровский вестник, 3: 212–213.
- Корчагин Ю.А. 2016. Человеческий капитал как фактор роста и развития или стагнации, рецессии и деградации: Монография. Воронеж: ЦИРЭ, 51 с.
- Краковская И.Н. 2008. Измерение и оценка человеческого капитала организации: подходы и проблемы. Экономический анализ: теория и практика, 19(124): 14–50.
- Кристиневич С.А. 2015. Эффективность развития человеческого капитала: теоретико-методический аспект. Экономический вестник университета. Сборник научных трудов ученых и аспирантов, 25-1: 117–121.
- Кузьмичева И.А., Флик Е.Г. 2012. Становление оценки и оценочной деятельности в мире и в России. Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, 2: 119–123.
- Ришко Ю.Б. 2014. Методы оценки человеческого капитала в организации. Вестник Омского государственного аграрного университета, 4: 71–78.
- Самусенко С.А. 2015. Финансовая оценка человеческого капитала организации, 3: 138–142.
- Соболева И.В. 2009. Парадоксы измерения человеческого капитала. Научный доклад. Москва: Институт экономики РАН. 50 с.
- Спиридонова Е.М. 2010. Индекс развития человеческого потенциала как интегральный показатель уровня жизни населения регионов. Вестник СамГУПС, 4: 45–51.
- Allan, M. Williams, Vladimir, Baláz, Claire, Wallace. 2004. International Labour Mobility and Uneven Regional Development in Europe: Human Capital, Knowledge and Entrepreneurship. European Urban and Regional Studies, 11(1): 27-46. <https://doi.org/10.1177/0969776404039140>
- Crespo C., Doppelhofer G., Huber F., Piribauer P. 2018. Human capital accumulation and long-term income growth projections for European regions. Journal of Regional Science, 58: 81–99.
- Diebolt, C., Hippe, R. 2019. The long-run impact of human capital on innovation and economic development in the regions of Europe. Applied Economics, 51(5): 542–563. <https://doi.org/10.1080/00036846.2018.1495820>
- Dung, N.T., Tri, N.M., & Minh, L.N. 2021. Digital transformation meets national development requirements. Linguistics and Culture Review, 5(S2): 892–905. <https://doi.org/10.21744/lingcure.v5nS2.1536>
- Flores, E., Xu, X. and Lu, Y. 2020. Human Capital 4.0: a workforce competence typology for Industry 4.0, Journal of Manufacturing Technology Management, 31(4): 687–703. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2019-0309>
- Flores, E., Xu, X. and Lu, Y. 2020. Human Capital 4.0: a workforce competence typology for Industry 4.0. Journal of Manufacturing Technology Management, 31: 687–703.
- Kogteva, A.N., Gerasimova, N.A., Kulik, A.M., Drughnikova E.P., Ibragimov, M. 2020. Features of the Formation and Development of the Region's Human Capital in a Digital Transformation. International Conference on Economics, Management and Technologies 2020 (ICEMT 2020). Atlantis Press: 44–49.
- Marcel, Matthess, Stefanie, Kunkel. 2020. Structural change and digitalization in developing countries: Conceptually linking the two transformations. Technology in Society, 63 (1): 101428. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101428>.
- Matthias, Flückiger, Markus, Ludwig. 2018. Geography, human capital and urbanization: A regional analysis. Economics Letters, 168: 10-14.
- Patrikakis, C.Z., Murugesan, S. 2020. The New Needs of Professions in IT. Professional, 22(1): 43–46. <https://doi.org/10.1109/MITP.2019.2963413>.
- Schulz T.W. 1971. Investment in Human Capital: The Role of Education and of Research. FreePress, 1: 64–65.





Svarc, J., Laznjak, J. and Dabic, M. 2021. The role of national intellectual capital in the digital transformation of EU countries. Another digital divide? *Journal of Intellectual Capital*, 22(4): 768–791. <https://doi.org/10.1108/JIC-02-2020-0024>

## References

- Avakian A.G. 2015. Methods of estimating the value of human capital abroad. *Modern trends in economics and management: a new look*, 33: 158–160 (in Russian).
- Vasilyeva E. 2010. Analysis of methodological approaches to measuring human capital. *Federalism*, 1: 89–96.
- Dobrynin A.I., Dyatlov S.A., Tsyrenova E.D. 1999. Human capital in a Transitive economy: formation, evaluation, efficiency of use. St. Petersburg: Nauka. 308 p (in Russian).
- Kiryanov D.A., Sukhareva T.N. 2011. Methods of human capital assessment: analysis of the objectivity and sufficiency of the initial data. *Theory and practice of social development*, 3: 337–340 (in Russian).
- Kondaurova I.A. 2016. Identification of problems of formation and use of human capital in the context of innovative development. *Drucker's Bulletin*, 3: 212–213 (in Russian).
- Korchagin Yu.A. 2016. Human capital as a factor of growth and development or stagnation, recession and degradation: Monograph. Voronezh: CIRCE, 51 p (in Russian).
- Krakovskaya I.N. 2008. Measurement and evaluation of the organization's human capital: approaches and problems. *Economic analysis: theory and practice*, 19(124): 14–50 (in Russian).
- Kristinevich S.A. 2015. Efficiency of human capital development: theoretical and methodological aspect. *Economic Bulletin of the University. Collection of scientific papers of scientists and postgraduates*, 25-1: 117–121 (in Russian).
- Kuzmicheva I.A., Flick E.G. 2012. The formation of evaluation and evaluation activities in the world and in Russia. The territory of new opportunities. *Bulletin of the Vladivostok State University of Economics and Service*, 2: 119–123 (in Russian).
- Rishko Yu.B. 2014. Methods of assessing human capital in an organization. *Bulletin of Omsk State Agrarian University*, 4: 71–78 (in Russian).
- Samusenko S.A. 2015. Financial assessment of the organization's human capital, 3: 138–142 (in Russian).
- Soboleva I.V. 2009. Paradoxes of measuring human capital. *Scientific report. Moscow: Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*, 50 p (in Russian).
- Spiridonova E.M. 2010. The human development index as an integral indicator of the standard of living of the population of the regions. *Bulletin of SamGUPS*, 4: 45–51 (in Russian).
- Allan, M. Williams, Vladimir, Baláz, Claire, Wallace. 2004. International Labour Mobility and Uneven Regional Development in Europe: Human Capital, Knowledge and Entrepreneurship. *European Urban and Regional Studies*, 11(1): 27-46. <https://doi.org/10.1177/0969776404039140>
- Crespo C., Doppelhofer G., Huber F., Piribauer P. 2018. Human capital accumulation and long-term income growth projections for European regions. *Journal of Regional Science*, 58: 81–99.
- Diebolt, C., Hippe, R. 2019. The long-run impact of human capital on innovation and economic development in the regions of Europe. *Applied Economics*, 51(5): 542–563. <https://doi.org/10.1080/00036846.2018.1495820>
- Dung, N.T., Tri, N.M., & Minh, L.N. 2021. Digital transformation meets national development requirements. *Linguistics and Culture Review*, 5(S2): 892-905. <https://doi.org/10.21744/lingcure.v5nS2.1536>
- Flores, E., Xu, X. and Lu, Y. 2020. Human Capital 4.0: a workforce competence typology for Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(4): 687–703. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2019-0309>
- Flores, E., Xu, X. and Lu, Y. 2020. Human Capital 4.0: a workforce competence typology for Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31: 687–703.
- Kogteva, A.N., Gerasimova, N.A., Kulik, A.M., Drughnikova E.P., Ibragimov, M. 2020. Features of the Formation and Development of the Region's Human Capital in a Digital Transformation. *International Conference on Economics, Management and Technologies 2020 (ICEMT 2020)*. Atlantis Press: 44–49.
- Marcel, Matthess, Stefanie, Kunkel. 2020. Structural change and digitalization in developing countries: Conceptually linking the two transformations. *Technology in Society*, 63 (1): 101428. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101428>.
- Matthias, Flückiger, Markus, Ludwig. 2018. Geography, human capital and urbanization: A regional analysis. *Economics Letters*, 168: 10–14.

- Patrikakis, C.Z., Murugesan, S. 2020. The New Needs of Professions in IT. *Professional*, 22(1): 43–46. [https:// doi: 10.1109/MITP.2019.2963413](https://doi.org/10.1109/MITP.2019.2963413).
- Schulz T.W. 1971. *Investment in Human Capital: The Role of Education and of Research*. FreePress, 1: 64–65.
- Svarc, J., Laznjak, J. and Dabic, M. 2021. The role of national intellectual capital in the digital transformation of EU countries. Another digital divide? *Journal of Intellectual Capital*, 22(4): 768–791. <https://doi.org/10.1108/JIC-02-2020-0024>

**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

**Кулик Анна Михайловна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Герасимова Наталья Анатольевна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры прикладной экономики и экономической безопасности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Когтева Анна Николаевна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и менеджмента, Академия труда и социальных отношений, г. Москва, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Anna M. Kulik**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Natalija A. Gerasimova**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Economics and Economic Security, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Anna N. Kogteva**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Management, Academy of Labor and Social Relations, Moscow, Russia

---

# ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

---

УДК 334.7

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-494-506

## Разработка направлений развития тарифного регулирования естественных монополий

**Краснова Т.А.**

Санкт-Петербургский государственный экономический университет  
Россия, 191023, г. Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30-32  
E-mail: tatyana\_uspen@mail.ru

**Аннотация.** В статье на основе практического опыта исследуется влияние действующего тарифного регулирования естественных монополий на политику менеджмента компаний. Представлены приемы компаний естественных монополий для манипулирования исходными данными при формировании тарифа с использованием своего преимущества в виде асимметричности исходной информации. Ключевые аспекты сгруппированы по видам, исследовано преимущество, которое компания предполагает получить при их использовании. Кроме того, обоснована необходимость аудита процесса регулирования территориальных уполномоченных органов с целью обобщить и выявить основные проблемы при ошибочно принимаемых решениях. Предложены превентивные меры для предотвращения недобросовестного поведения как хозяйствующих субъектов, так и представителей государственного органа, которому делегировано право утверждения тарифа. Разработана карта направлений по векторам совершенствования регулирования естественных монополий.

**Ключевые слова:** государственное регулирование естественных монополий, формирование тарифа, карта направлений по векторам развития тарифного регулирования естественных монополий.

**Для цитирования:** Краснова Т.А. 2022. Разработка направлений развития тарифного регулирования естественных монополий. Экономика. Информатика, 49(3): 494–506. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-494-506

---

## Development of Directions for the Development of Tariff Pricing of Natural Monopolies

**Tatyana A. Krasnova**

St. Petersburg State University of Economics  
30-32 Griboyedov Canal Qy, St. Petersburg, 191023, Russia  
E-mail: tatyana\_uspen@mail.ru

**Abstract.** The article examines the impact of the current tariff regulation of natural monopolies on the management policy of companies. The practical techniques of natural monopoly companies for manipulating the source data when forming the tariff, using their advantage in the form of asymmetry of the source information, are presented. The results of practical observation are presented, from which the implicit techniques used by economic entities are highlighted. The key aspects are grouped by types, the advantage that the company expects to receive when using them is investigated. In addition, the need for an audit of the regulatory process of territorial authorized bodies is justified in order to summarize and identify the main problems with erroneous decisions. Preventive measures are proposed to prevent unfair behavior of both business entities and representatives of the state body to which the right to approve the tariff is delegated. The map of directions on vectors of improvement of regulation of natural monopolies is presented.

**Keywords:** state regulation of natural monopolies, tariff formation, directions map by vectors of improving control of natural monopolies

**For citation:** Krasnova T.A. 2022. Development of Directions for the Development of Tariff Pricing of Natural Monopolies. Economics. Information technologies, 49(3): 494–506 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-494-506

## Введение

Рыночная экономика представляет собой сложную систему взаимосвязанных факторов, большая часть такой экономики может эффективно развиваться в условиях конкуренции, поэтому государство и создает условия для ее развития. Однако есть экономические области, в которых считается, что высокий результат не может быть достигнут соревновательным путем. К таким в частности относится деятельность субъектов естественных монополий. В отраслях, относимых к этим сферам, вырабатываются важнейшие ресурсы, необходимые для товаров и услуг во всех отраслях экономики. Субъекты естественных монополий во многом обеспечивают жизнедеятельность населения, поставляя газ, воду, электро- и теплоэнергию и оказывая транспортные услуги [Долматов, 2017]. Деятельность субъектов естественных монополий, степень их воздействия на общество и на темпы и пропорции экономического развития имеют огромное значение и требуют государственного регулирования [Краснова, 2021a]. Тарифы на услуги естественных монополий, к которым по законодательству Российской Федерации, согласно ФЗ № 147, относятся: водоснабжение, водоотведение, транспортировка нефти, газа электроснабжение и т. д., – одна из самых обсуждаемых тем бытового уровня и нестареющая тема для научных исследований. К теме необходимости концепции долгосрочного формирования тарифов обратился президент Путин В., который осенью 2020 года дал поручение разработать долгосрочную концепцию формирования тарифов естественных монополий [Поручение...].

Степень научной разработанности данной проблемы остается неполной. Это связано с чрезвычайной сложностью вопроса о регулировании деятельности естественных монополий, разнообразием их форм и видов, непрерывно меняющейся экономической и политической средой, присутствием дисбаланса в процессе осуществления деятельности между государственными интересами, потребителем и производителем, а, главное, недостаточной эффективностью существующей системы, что ведет к нестабильности и непредсказуемости в данной сфере. Необходимость тщательного анализа опыта государственного регулирования, причин его несостоятельности для дальнейшего использования в совершенствовании механизма государственного регулирования сферы «естественных монополий» обуславливает актуальность данной темы.

Недоработки в подходах к формированию тарифов влекут перерасчеты в следующем регулируемом периоде, а также многочисленные судебные разбирательства. Это вызывает увеличение общественных затрат, так как пересмотр в сторону увеличения более поздним сроком выгоден компании, которая, по сути, получила в свое распоряжение кредит, а потом компенсирует полученное в условиях инфляции [Posner, 1962]. Судебные разбирательства по поводу величины устанавливаемых тарифов и условий их применения также требуют финансовых вложений от общества. В обзоре судебной практики, утвержденном Верховным судом Российской Федерации «О некоторых вопросах применения антимонопольного законодательства», указано, что «многообразие вариантов недобросовестного поведения, как хозяйствующих субъектов, так и органов государственной власти различного уровня в экономических отношениях между собой позволяет сделать вывод, что споры, связанные с применением антимонопольного законодательства в настоящее время являются одной из сложных и актуальных категорий судебных дел» [Обзор судебной практики по спорам...].

Научные исследования, связанные с пресечением таких проявлений, связаны в основном с дискуссиями по формам тарифного регулирования [Гембик, 2018; Саакян, 2019], либо исследуются правовые вопросы и вносятся предложения по корректировке законодательства и усилению ответственности хозяйствующих субъектов, что несомненно служит для исправления ситуации [Постанюк, 2020; Хайкин, 2017]. Однако с точки зрения экономического подхода проблема недостаточно рассмотрена и исследована [Карлик, 2016].



В современном процессе регулирования тарифа важно иметь подробный и обширный объем данных о предприятии, искать пути для устранения информационной асимметрии. С этой целью вводятся различные формы и требования отчетности, а также предусматриваются санкции в случае искажения качества информации или предоставления ее в не полном объеме. Контроль и надзор, осуществляемый Антимонопольной Федеральной службой, определяет отклонения от установленного порядка ценообразования по части 1 статьи 10 Федерального закона «О защите конкуренции». Фактические выявляемые нарушения представляют собой следующие варианты:

- использование завышенных тарифов, в том числе утвержденных для других хозяйствующих субъектов либо на другие услуги;
- ненадлежащее исполнение или неисполнение указаний уполномоченного компетентного органа регулирования;
- нарушение сроков предоставления информации;
- осуществление деятельности, относящейся к регулируемой, в отсутствие установленных тарифов;
- предъявление потребителю к оплате расходов, которые не утверждены регулирующим органом;
- навязывание дополнительной продукции или услуги, не предусмотренной утвержденным тарифом [Познер, 2004; Постанюк, 2020].

Несмотря на строгое регулирование деятельности субъектов естественных монополий, компания лучше осведомлена о своих доходах и расходах, чем регулирующий орган, и может использовать эту информацию в своих стратегических целях. Именно по причине неполной информации уполномоченного органа о хозяйствующем субъекте и связанных с этим принимаемым решениям, существуют основные спорные моменты регулирования тарифов естественных монополий, как с точки зрения поощрения, которое намеренно или непреднамеренно устанавливается регулятором, так и с точки зрения распределения субсидий между предприятием и потребителем [Averch, 1962].

За явные нарушения законодательства антимонопольная служба принимает меры наказания, пресекая такие действия. Но существуют и скрытые приемы использования несовершенства регулирования, которые позволяют предприятию иметь более выгодную позицию.

Практикой выработаны такие способы, которые не перечислены в типовых нарушениях, позволяющие хозяйствующим субъектам использовать существующую асимметрию владения информацией о фактической ситуации.

В таблице 1 представлены полученные автором в результате исследований скрытые приемы компаний манипулированием информацией, применяемые ими в процессе подготовки заявки на утверждение тарифа и предлагаемые превентивные меры.

Таблица 1  
Table 1

Неявные приемы манипулирования внутрифирменной информацией  
 компаниями естественных монополий  
 Implicit techniques for manipulating internal information by natural monopoly companies

Используемый прием	Преимущество компании	Возможные превентивные меры
1	2	3
Имитация создания нового предприятия	Нет необходимости обоснования производимых затрат. Компетентный орган принимает за основу издержки за последний год.	Регулятор принимает в расчет затраты не всего предприятия, а только те, которые явились основанием для создания нового предприятия плюс общие затраты по удельному весу в общем объеме эксплуатируемых активов

Окончание табл. 1

1	2	3
Завышение стоимости основных активов	Увеличиваются расходы на содержание. Является значительным источником увеличения затрат	Применение показателя регулируемой базы задействованных активов. Нормирование производимых затрат. Учет в расчетах величины леввериджа.
Преувеличенное представление стратегических операционных расходов		
Излишне увеличенные нормативные потери	Оправдывает непроизводительные потери	Необходима стандартизированная норма расчета нормативной потери на единицу обслуживаемой сети в привязке к сроку эксплуатации
Конкретизация требований при конкурсной заявке товаров и услуг через систему государственных закупок, которые может обеспечить единственный поставщик (то есть существует сговор по результату тендера закупок)	Позволяет существование сговора между субъектом естественных монополий и поставщиком	Необходимо нормирование работ или материалов, закупаемых посредством тендера, или проведения ремонтных работ
Преувеличение прогноза стоимости	Чем выше затраты утвердит надзорный орган, тем больше вариантов ими распорядиться	Стимулирующее ценообразование рассмотрено подробно в [Краснова, 2021b]
Максимизация объема производимой услуги при минимизации прогноза	Если недооценить количество производимой продукции, то при реализации большего объема вырастет и прибыль	Корректировка объема в регулируемый период рассмотрена подробно в [Краснова, 2020b]
Фактическая минимизация объема производства	Поставка в меньшем объеме, чем заявленная, имеет тенденцию запрашивать увеличение тарифа для оставшихся без услуги /продукции клиентов	
Перекрестное субсидирование	Возможность реализовать услугу/продукцию, компенсируя «непогашенные долги»	Мониторинг принципов и схем перекрестного субсидирования для каждого конкретного предприятия [Краснова, 2020a]
Перераспределение затрат с нерегулируемой по прибыли деятельности	Возможность компенсировать затраты на нерегулируемое производство на покупателей продукции естественных монополий	Аудиторские проверки на соответствие раздельному учету регулируемых видов деятельности
Имитация прозрачности деятельности в соответствии с тарифной сметой	Возможность манипулирования затратами	Раскрытие информации должно содержать плановые показатели тарифной сметы

### Имитация создания нового предприятия

Менеджеры компаний в стремлении избежать подтверждения затрат перед регулирующим органом проводят перерегистрацию предприятия и указывают работу компании как вновь созданную. В этом случае в обосновании тарифа они представляют те затраты, которые были осуществлены за последний год, без ограничений компетентных организаций. На такой подход предприятия стали ориентироваться после перехода регулирования на долгосрочные тарифы. Т. е. предприятия массово стали работать как вновь созданные после введения в 2015 году нового подхода к методам установления тарифа.

В итоговые данные для расчета необходимо представлять: базовый уровень операционных расходов; индекс эффективности операционных расходов; нормативный уровень при-



были (только для арендаторов и концессионеров, договоры с которыми заключены после 01.01.2014); процентный уровень потерь; удельный расход электрической энергии на единицу производимой продукции. Кроме того, отчетные данные должны содержать: отклонение фактически достигнутого объема от объема, учтенного при установлении тарифов; отклонение фактически достигнутого уровня неподконтрольных расходов от уровня неподконтрольных расходов, который был использован при установлении тарифов; степень исполнения компанией своих обязательств при недостижении регулируемой организацией утвержденных плановых значений показателей надежности и качества. Вновь созданное предприятие предоставляет фактически сложившиеся показатели. Поэтому после перерегистрации финансовые показатели стараются увеличить, чтобы при установлении тарифа были приняты максимально возможные.

В таблице 2 в качестве примера такого приема представлены фрагментарные данные из государственного реестра естественных монополий по Ленинградской области за 2021 год. Из шести предприятий водоснабжения и водоотведения Ленинградской области все шесть зарегистрировали свой вид деятельности в 2015 году и позже [Официальный сайт Федеральной...].

Таблица 2  
Table 2

Данные по регистрации компаний естественных монополий  
 по Ленинградской области за 2021 год  
 Data on registration of natural monopoly companies in the Leningrad region for 2021

Регион/ адрес	Организация	№ приказа о включении в реестр естественных монополий	Дата приказа
Ленинградская область/ ул. Ябна Фабрициуса, д.28, г. Луга	ОАО «Лужский водоканал»	505-э	25.03.2015
Ленинградская область/ г. Всевожск, ул. Межевая, д.6Б	ООО «Северо-Запад Инжиниринг»	516/18	20.04.2018
Ленинградская область/ Ул. Ленинградская, д.3, г.п. Дубровка, Всевожский район,	ГУП «Водоканал Ленинградской области»	47/19	21.01.2019
Ленинградская область/ Волховское ш., д. 11 Е, корп. 2, г. Кириши, Киришинский район	ООО «Русджам Стеклотара Холдинг»	757/19	10.06.2019
Ленинградская область/ Мкр. 1-ый, д. 1, г.п. им. Свердлова, Всевожский район,	Муниципальное унитарное казённое предприятие «Свердловские коммунальные системы»	1553/19	26.11.2019
Ленинградская область/ ш. Пушкинское, д. 7, стр. 1, г. Гатчина, Гатчинский р-н,	МУП «Водоканал» г. Гатчина	1022/20	23.10.2020

Такая ситуация характерна не только для Ленинградской области, но и для большинства регионов Российской Федерации.

Анализ реестра естественных монополий по водоснабжению Алтайского края показывает, что 86,7 % предприятий зарегистрированы после 2017 года [Официальный сайт Федеральной...]. Описанная стратегия помогает увеличить тариф и избежать ограничений на его повышение. Так как такой прием принял массовый характер, необходимо учитывать это при индивидуальном принятии решений о ценообразовании на продукцию и услуги отдельных монополистов и утверждении нового тарифа на следующий регулируемый период.

В случае открытия естественно монопольного предприятия как вновь созданного, автор предлагает индивидуально рассматривать причины такого шага. Если причиной является изменение размера трассы обслуживаемой сети или другие изменения в составе основных средств, то принимать конкретно данные по содержанию этих активов за прошедший период с учетом амортизации либо представлять расчеты на обслуживание, одновременно относя общие расходы по удельному весу новых активов в общем объеме с обязательным обоснованием необходимости таких активов.

### **Необоснованное увеличение стоимости основных активов и значение операционных расходов**

Другой подход к искажению величины согласовываемого тарифа: необоснованное увеличение стоимости основных активов. Основные активы зачастую приобретаются преувеличенной стоимости и включают в себя свойства и предназначение, необходимость которого для производства продукции или услуги вызывает сомнение. Содержание такого имущества требует дополнительных затрат. А существование таких излишних активов всегда можно обосновать стремлением улучшить качество соответствующего вида деятельности. Этот прием в исследованиях называют «золотым покрытием» – добавление необоснованных улучшений к услуге или продукту для увеличения конечного значения тарифа.

По мнению автора, в этом случае возможно применение международного опыта. Необходимо ввести в общую формулу расчета валовой выручки коэффициент регулируемой базы задействованных активов, который отражает степень использования того или иного оборудования для предоставления услуги или продукции с учетом амортизации.

### **Завышение величины нормативных потерь**

Существует и другой прием, имеющий похожую цель: предоставление расчета на согласование излишне увеличенной потери. Такие затраты при эксплуатации инфраструктурных сетей неизбежны, изменяется только величина их объема. Под потерями подразумевается расход, связанный с технологическими нуждами, например, в водоснабжении это промывка резервуаров чистой воды, использование для опрессовочных работ в сетях и так далее, эти объемы в обосновании затрат регулирующей орган принимает как необходимые. Компании стремятся в обоснование таких расходов на технологические нужды включить потери, которые происходят из-за некачественного обслуживания. Следует отметить, безусловно, значительный износ сетевых структур в процессе функционирования сопровождается потерями. Возникающие потери могут быть, например, как следствие износа сети, неправильной регуляцией и т. д. Субъект естественных монополий расчет потерь проводит самостоятельно, стремясь представить их как можно большей величиной.

В Ленинградской области целый ряд предприятий водоснабжения имеет один и тот же процент согласованной потери воды (без учета технологических нужд). В таблице 3 приведена выдержка из приказа Комитета по тарифам и ценовой политике Ленинградской области №484-пп от 20 декабря 2021 года по основным показателям производственной программы в сфере холодного водоснабжения (питьевая вода) государственного унитарного предприятия «Водоканал» Ленинградской области, которая наглядно демонстрирует использование указанного приема [Официальный сайт Федеральной...].





Таблица 3  
 Table 3

Величина потерь в сетях холодного водоснабжения (питьевая вода)  
 The amount of losses in cold water supply networks (drinking water)

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Величина показателя на 2021 год	Величина показателя на 2022 год	Величина показателя на 2023 год
<b>Для потребителей Бокситогорского, Лодейнопольского, Подпорожского и Тихвинского муниципальных районов Ленинградской области</b>					
	Питьевая вода				
1.	Поднято воды	тыс. м. куб	11355,56	11097,33	11355,56
2.	Получено воды со стороны	тыс. м. куб	32,74	24,16	32,74
3.	Подано воды в сеть	тыс. м. куб	10598,91	10339,04	10598,91
4.	Потери воды в сетях	тыс. м. куб	2120	2338,55	2120
		%%	20,00	20,00	20,00

Приведенный пример демонстрирует, что для всех указанных предприятий процент потерь в сети один и тот же – 20 %, что исключает обоснованный достоверный расчет.

Преувеличение объема дает возможность переложить стоимость непроизводительных расходов на потребителя, либо, не имея по факту таких потерь, получать дополнительную прибыль. Такая стратегия позволяет компаниям, с одной стороны, «прятать» непроизводительные издержки, связанные с некачественным обслуживанием сети и получать доход за необоснованные затраты. С другой стороны, это влечет к снижению мотивации приобретения новых основных средств, так как в этом случае повысятся амортизационные расходы, снизятся затраты на ремонтные работы, снизится и величина потерь, которые включены в расчет.

**Приобретение товаров и услуг на конкурсной основе** продолжает быть предметом споров. Наличие сговора при проведении тендера на услуги или товары подтверждается выявленными случаями. Нередко возникает ситуация, когда участники конкурса находятся в неравных условиях, так как осведомлены о нюансах конкурса в большей или меньшей степени. Либо заявка сформирована с ориентацией на определенную конкретную компанию. Негативные последствия такого подхода влекут за собой не только возможную коррупционную составляющую, но и ухудшение качества требуемого материала или услуги.

Следующим приемом, используемым естественными монополистами, является **максимизация объема услуги при минимизации прогноза**. Если недооценить объем предполагаемой услуги, тогда при реализации большего количества вырастет и прибыль. Примером использования такого приема является, например, ситуация, когда монополист владеет информацией о новом потребителе (новое производство, ввод жилья и т. д.), но по факту его в информации на обоснование тарифа не указывает.

**Фактическая минимизация объема производства**. Поставка в меньшем объеме, чем заявленная является поводом запрашивать увеличение тарифа для оставшихся без услуги (продукции) клиентов.

**Злоупотребление перекрестным субсидированием**. Перекрестное субсидирование осуществляется несколькими вариантами. Внутри компании – это перераспределение затрат между клиентами и перераспределение между производимыми услугами. Особенно это актуально для предприятий, где помимо естественно-монопольной осуществляется и другая деятельность. Перераспределение затрат с нерегулируемой по прибыли деятельности на регулируемую дает возможность компенсировать затраты на прочее производство за счет покупателей продукции естественных монополий.

**Имитация прозрачности деятельности.** Требование законодательства публиковать ежегодные отчеты об израсходованных средствах и прочие результаты деятельности компании должно было обеспечить ясность формирования затрат на услуги естественных монополистов. Но по факту монополисты публикуют самую различную информацию, которая сама по себе малоинформативна, нет сведений о суммах, предусмотренных в тарифе, публикуемые данные не поддаются объективному анализу. Существующие требования к раскрытию информации не позволяют делать выводы и не могут дать оценку работы субъекта.

Стратегия ответного поведения менеджеров хозяйствующего субъекта на регулирование деятельности естественных монополий направлена на использование в пользу компании недостатков системы регулирования. Монополисты либо представляют нереальную информацию используемых активов, либо умышленно завышают существующие затраты.

Действия менеджмента компаний субъектов естественных монополий носят направление защиты интересов своих компаний, влекут ущерб интересам потребителей.

Перечисленные приемы не всегда можно выявить внешним мониторингом. Необходимо совершенствование системы регулирования.

Негативное влияние на уровень общественных затрат вызывает не только введение необоснованного тарифа, вызванного манипулированием информацией субъекта естественных монополий, но и действия уполномоченного органа, который при принятии таких важных решений не несет ответственности за результат.

В докладе Высшей школы экономики за 2020 год по тарифной политике в сфере естественных монополий отмечается, что происходит увеличение досудебных и судебных разбирательств в отношении принятых уполномоченными органами тарифных решений и взыскания в адрес регулирующих органов за несоблюдение законодательства. Подчеркивается низкая результативность с точки зрения создания стимулов для снижения издержек компаниями субъектами естественных монополий и повышения качества обслуживания. На федеральном уровне не проводится мониторинг взаимосвязи трансформации процесса регулирования с тенденциями, наблюдаемыми в соответствующих отраслях [Официальный сайт Министерства...]. При изменении подходов к регулированию произошла потеря ответственности за конечный результат [Кудрявый, 2016]. Такая тенденция опосредованно влияет на увеличение общественных затрат на регулирование. Судебная практика показывает, что увеличивается количество заявлений на действия уполномоченного органа и субъекты естественных монополий все чаще получают возмещение исковых требований [Обзор судебной практики. О некоторых...]. При этом основная часть претензий исходит от компаний естественных монополистов, работающих в крупных городах или областях, так как они имеют возможность для спора в судах привлечь экспертов различного уровня, то есть судебная практика не отражает полной картины такого явления. Статистики общего количества удовлетворенных исков естественных монополий в открытом доступе нет, но исследование материалов обзоров судебной практики подтверждает наличие проблемы. В таблице 4 представлены наиболее значительные суммы в рублях, оспоренные в судах за 2018 год. Выбраны для примера 10, которые содержат в себе наиболее значительные суммы к возмещению ущерба [Бюллетень...]. Общая сумма около полутора миллиардов рублей свидетельствует о необходимости пристального внимания к процессу регулирования территориальными уполномоченными органами, выявления причин, по которым возрастает тенденция ошибочности принимаемых решений.

Очевидно, что в причинах такого результата есть недоработки уполномоченного органа, в том числе недостаточная компетенция кадрового состава, технические возможности и др.

Появляется необходимость в проведении аудита работы самих уполномоченных органов.

Аудит процесса системы регулирования определяется как комплексный анализ, позволяющий достоверно оценить существующую систему управления, провести переоценку системы и документации, определить соответствие текущей политики проводимых процедур современным возможностям. Подразумевает отслеживание всех ключевых составляющих процесса регулирования. Специфика проведения аудита определяется в соответствии с предложенными направле-

ниями. Аудит системы управления способствует выявлению проблемных областей, по результатам возможна выработка рекомендаций по их устранению [Мясникова, 2021].

Таблица 4  
 Table 4

Наиболее крупные суммы к возмещению по искам субъектов естественных монополий за 2018 год  
 The largest amounts to be reimbursed for claims of natural monopolies in 2018

№ п/п	Субъект естественной монополии	Сумма к возмещению иска
1	ОАО «МРСК Урала»	487 468 231
2	ООО «Производственная компания Аквариус»	172 051 842
3	ОАО «РЖД»	165 815 203
4	АО «Сибкабель»	113 365 113
5	ПАО «Ростелеком»	99 666 448
6	ЗАО «КТСП»	91 158 800
7	ПАО «МРСК Северо-Запада»	87 575 510
8	ООО «Фарм СКД»	85 291 843
9	ООО «ТЗК-Аэро»	64 770 068
10	ООО «Газпром межрегионгаз Пятигорск»	62 158 193
	<b>Всего по 10 искам</b>	<b>1 429 321 251</b>

Предлагаются следующие вопросы аудита: методология регулирования, процесс управления, структуры управления, поступление необходимой информации, техническая составляющая управления.

На рисунке 1 представлена схема аудита процесса регулирования уполномоченным органом.

Так как уполномоченный орган выполняет не только контролирующую функцию, но и оказывает методологическую помощь при заявке на установления тарифа, а также возможные нештатные ситуации, то обратная связь имеет высокое значение. Должна быть четко определена система коммуникации с целью получить необходимую информацию и компетентную консультацию. Схема процесса должна быть понятной, без лишних бюрократических процедур. Для хозяйствующего субъекта необходимо понимание обоснования принятия того или иного решения и любое управленческое решение должно быть доведено и представлено в установленный срок.

Так как система управления ориентирована по отраслям и видам деятельности, то в процессе аудита возможно использование процедуры бенчмаркинга с целью выявления и экстраполяции лучшей организации процесса системы регулирования.

Необходимо оценить возможности рассмотрения и проверки документов с помощью компьютерной обработки.

Таким образом, проведение Федеральной Антимонопольной службой аудита процесса регулирования деятельности естественных монополий уполномоченным органом позволит сделать вывод о его эффективности. Аудит необходимо проводить как по отдельным видам регулируемых услуг, так и в целом по общим показателям системы.

Обобщая рассмотренные элементы, которые не всегда попадают под контроль при действующем регулировании, предлагается использовать *карту рекомендаций по векторам направлений развития контроля естественных монополий* (рисунок 2).



Рис. 1 Аудит системы управления регулирующего органа естественных монополий  
 Fig. 1. Audit of the management system of the regulatory body of natural monopolies

Превентивные меры манипулирования информацией субъектами естественных монополий:

- введение системы детального нормирования на услуги и затраты по ремонту, потерям, работам и товарам, приобретаемым в результате конкурсных заявок;
- при сопоставлении стоимости отдельных видов затрат принимать за основу не средние по отрасли или региону, а модальные значения;
- введение показателя задействованных активов в регулируемую деятельность компании;
- расширение вопросов и содержания выводов, предоставляемых аудитом по поводу деятельности проверяемых компаний;
- публикация данных исполнения тарифной сметы с указанием утвержденных показателей. Превентивные меры некачественного регулирования со стороны уполномоченного органа: введение аудиторской проверки процесса регулирования.

Резюмируя, можно отметить, что в исследовании на основе практических наблюдений выявлены неявные приемы манипулирования информацией субъектами естественных монополий в целях влияния на решение уполномоченного органа по тарифу и предложена методика их предотвращения. Обоснована необходимость введения системы нормирования на работы и материалы. Предложено дополнить раскрытие информации при обосновании тарифной заявке сведениями о задействованных активах для производства регулируемой услуги, а также по утвержденной и выполненной смете расходов.

Анализ удовлетворенных исков регулируемых субъектов к уполномоченным территориальным органам, выявил насущность повышения внимания к результатам и качеству процесса регулирования компетентными органами. Разработана схема аудита политики вмешательства территориального уполномоченного органа в деятельность естественных монополий.

Предложена методика совершенствования регулирования в виде карты рекомендаций по векторам направлений развития существующего контроля, в составе которой содержатся конкретные решения по устранению выявленных недостатков с целью снижения общественных затрат, пресечения предоставления недостоверной информации, которая влияет на обоснованность тарифа, и аудит процесса регулирования, повышающий качество контроля за де-

тельностью естественных монополий. Результатом будет снижение общественных затрат на процесс тарифного регулирования субъектов естественных монополий.



Рис. 2. Карта рекомендаций направлений по векторам развития тарифного регулирования естественных монополий

Fig. 2. The map of recommendations of directions on vectors of development of tariff regulation of natural monopolies

### Список источников

- Бюллетень антимонопольной статистики сентябрь 2019 год. URL: <http://antitrusteconomist.ru/research/Pulse> (дата обращения 12.01.2022)
- Карлик А.Е., Платонов В.В. 2016, Исследование организационного и динамического потенциала предприятий. СПб.: Изд-во СПбГЭУ: 79 с.
- Кудрявый В.В. 2016. Системное разрушение системы. Energo-book\_Layout, 111 с.
- Мясникова Г.Ю. 2021. Аудиты: классификация и принципы проведения. URL: <https://saransk.ruc.su/upload/documents/audpresent.pdf> (дата обращения 10.09.2021)
- Обзор судебной практики по спорам об оплате неучтенного потребления воды, тепловой и электрической энергии, поставленной по присоединенной сети. Утвержден Президиумом Верховного Суда Российской Федерации 22 декабря 2021 г. URL: <https://zen.yandex.ru/media/zhane/verhovnyi-sud-utverdil-obzor-praktiki-po-sporam-ob-oplate-neuchennogo-potrebleniia-energii-61c32d13d703d352cb2b4b1d> (дата обращения 12.01.2022)
- Обзор судебной практики. О некоторых вопросах применения антимонопольного законодательства. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_378656/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_378656/) (дата обращения 12.01.2022)
- Официальный сайт Министерства экономического развития Российской Федерации. URL: <http://www.economy.gov.ru/mines/main> (дата обращения 14.04.2021).
- Официальный сайт Федеральной антимонопольной службы. URL: <http://fas.gov.ru/about/mission.html> (дата обращения 12.01.2022)
- Познер Р. 2004. Экономический анализ права. СПб. Экономическая школа, Т. 1: 464 с.
- Порушение президента РФ В. Путина. URL: <https://tass.ru/ekonomika/10102547?nw=1606378719000> (дата обращения 14.04.2021).

## Список литературы

- Гембик Ю.С. 2018. Проблемы практического применения законодательных методов регулирования тарифов в сфере водоснабжения и водоотведения. Вестник Томского государственного университета. Экономика, 41:51–56.
- Долматов И.А. 2017. Новый тарифный режим для естественных монополий в России, каким он должен быть? Наука, 4-5: 103–104.
- Краснова Т.А. 2020а. Структурные составляющие государственного регулирования естественных монополий. Финансовые рынки и банки, 3:121–125.
- Краснова Т.А. 2020б. Тенденции развития методологического подхода к регулированию естественных монополий. Труды IX Всероссийского симпозиума по экономической теории. Институт экономики УрО РАН г. Екатеринбург: 471–472.
- Краснова Т.А. 2021а. Особенности и специфика целей государственного регулирования естественных монополий. Инновации и инвестиции, 2: 56–60.
- Краснова Т.А. 2021б. Разработка функциональной модели совершенствования методов регулирования естественных монополий на основе стимулирующего подхода. Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции молодых ученых Санкт-Петербургского государственного экономического университета. под науч. ред. Горбашко Е.А. СПб.: Изд-во СПбГЭУ: 47–51.
- Постанюк В. 2020. Субъекты естественных монополий: методика борьбы с возможными злоупотреблениями. ЭЖ-Юрист, 11(1112). URL: <https://www.eg-online.ru/article/416342/> (дата обращения 17.09.2021).
- Саакян Ю. 2019. Государственное регулирование естественных монополий и его границы. URL: <http://www.ipem.ru/news/publications/398.html> (дата обращения 17.09.2021).
- Хайкин М.М., Кныш В.А. 2017. Естественные монополии в российской экономике: выбор модели регулирования. Управленческое консультирование, 5: 12–17.
- Averch H., Johnson L. 1962. Behavior of the Firm Under Regulatory Constraint. American Economic Review V, 52: 5.
- Posner R.A. 1969. Natural Monopoly and its Regulation. Stanford Law Review V., 21, 3: 548–643.

## References

- Gembik Yu.S. 2018. Problemy prakticheskogo primeneniya zakonodatel'nyh metodov regulirovaniya tarifov v sfere vodosnabzheniya i vodootvedeniya. [Problems of practical application of legislative methods of tariff regulation in the field of water supply and sanitation]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika, 41: 51–56.
- Dolmatov I.A. 2017. Novyj tarifnyj rezhim dlya estestvennyh monopolij v Rossii, kakim on dolzhen byt'?' [The new tariff regime for natural monopolies in Russia, what should it be?]. Nauka, 4-5: 103–104
- Krasnova T.A. 2020a. Strukturnye sostavlyayushchie gosudarstvennogo regulirovaniya estestvennyh monopolij.[Structural components of state regulation of natural monopolies]. Finansovye rynki i banki, 3: 121–125
- Krasnova T.A. 2020b. Tendencii razvitiya metodologicheskogo podhoda k regulirovaniyu estestvennyh monopolij. [Trends in the development of a methodological approach to the regulation of natural monopolies]. Trudy IX Vserossijskogo simpoziuma po ekonomicheskoy teorii. Institut ekonomiki UrO RAN g. Ekaterinburg: 471–472.
- Krasnova T.A. 2021a. Osobennosti i specifika celej gosudarstvennogo regulirovaniya estestvennyh monopolij.[ Features and specifics of the goals of state regulation of natural monopolies]. Innovacii i investicii, 2: 56–60.
- Krasnova T.A. 2021b. Razrabotka funkcional'noj modeli sovershenstvovaniya metodov regulirovaniya estestvennyh monopolij na osnove stimuliruyushchego podhoda. [Development of a functional model for improving the methods of regulation of natural monopolies based on a stimulating approach]. Sbornik nauchnyh trudov po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta. pod nauch. red. Gorbashko E.A. SPb.: Izd-vo SPbGEU: 47–51.
- Postanyuk, V. 2020. Subjekty estestvennyh monopolij: metodika bor'by s vozmozhnymi zloupotrebleniyami [Subjects of natural monopolies: methods of combating possible abuses]. EZh-Yurist 11 (1112) URL: <https://www.eg-online.ru/article/416342/> (data obrashcheniya 17.09.2021)



- Saakyan Yu. 2019. Gosudarstvennoe regulirovanie estestvennyh monopolij i ego granicy. [State regulation of natural monopolies and its boundaries]. URL: <http://www.ipem.ru/news/publications/398.html> (data obrashcheniya 17.09.2021)
- Hajkin M.M., Knysh V.A. 2017. Estestvennye monopolii v rossijskoj ekonomike: vybor modeli regulirovaniya. [Natural Monopolies in the Russian Economy: Choosing a Regulatory Model]. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie*, 5: 12–17
- Averch H., Johnson L. 1962. Behavior of the Firm Under Regulatory Constraint. *American Economic Review* V. 52: 5
- Posner R.A. 1969. Natural Monopoly and its Regulation. *Stanford Law Review* V. 21, 3: 548–643.

**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

**Краснова Татьяна Александровна**, аспирант кафедры экономики и управления предприятиями и производственными комплексами, Санкт-Петербургский Государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Tatyana A. Krasnova**, Postgraduate Student of the Department of Economics and Management of Enterprises and Industrial Complexes, St. Petersburg State University of Economics, St. Petersburg, Russia

УДК 339.97

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-507-514

## **Влияние референдума Брексит на миграцию из Евросоюза в Великобританию (на примере польских мигрантов)**

**Ладиков Я.С., Камышанченко Е.Н.**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
E-mail: 1199222@bsu.edu.ru, kamyshanchenko\_e@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Референдум Брексит оказал влияние на миграцию польских граждан из Евросоюза в Великобританию. В силу того, что данное явление мало исследовано в русскоязычном научном сообществе, проблема в такой постановке рассматривается впервые. Целью данного исследования является выявление социально-экономических факторов в контексте Брексит, повлиявших на миграционный поток польских мигрантов в Великобританию. Для изучения проблемы были проанализированы статистические данные, представленные как исследовательскими институтами, так и государственными ведомствами. В результате исследования были определены количественные показатели граждан Польши в Великобритании среди остальных мигрантов. Были рассмотрены факторы, повлиявшие на динамику миграционных потоков, также был произведен расчет убыли и прироста польской миграции в Великобританию в период 2016–2020 гг., сделан сравнительный анализ польских и британских статистических данных. Результаты исследования открывают новое теоретическое направление в исследовании влияния референдума Брексит на польских мигрантов в Великобритании.

**Ключевые слова:** Национальная статистическая служба Великобритании, Комитет по изучению миграции Польской академии наук, польская диаспора в Великобритании, миграция в Великобританию, польские мигранты, Брексит

**Благодарности:** исследование проведено при поддержке доктора географических наук Московкина Владимира Михайловича.

**Для цитирования:** Ладиков Я.С., Камышанченко Е.Н. 2022. Влияние референдума Брексит на миграцию из Евросоюза в Великобританию (на примере польских мигрантов). Экономика. Информатика, 49(3): 507–514. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-507-514

---

## **The Impact of the Brexit Referendum on Migration from the European Union to the UK (on the Example of Polish Migrants)**

**Yaroslav S. Ladikov, Elena N. Kamyshanchenko**

Belgorod National Research University,  
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia  
E-mail: 1199222@bsu.edu.ru, kamyshanchenko\_e@bsu.edu.ru

**Abstract.** The Brexit referendum had an impact on the migration of Polish citizens from the European Union to the UK. Due to the fact that this phenomenon has been little studied in the Russian-speaking scientific community, the problem in this formulation is considered for the first time. The purpose of this study is to identify socio-economic factors in the context of Brexit that influenced the migration flow of Polish migrants to the UK. To study the problem, statistical data presented by both research institutes and government departments were analyzed. As a result of the study, the quantitative indicators of Polish citizens in the UK, among other migrants, were determined. The factors that influenced the dynamics of migration flows were considered, the decrease and increase in Polish migration to the UK in the period 2016–2020 was also calculated, and a comparative analysis of





Polish and British statistical data was made. The results of the study open up a new theoretical direction in the study of the impact of the Brexit referendum on Polish migrants in the UK.

**Keywords:** National Statistical Office of the UK, Committee for the Study of Migration of the Polish Academy of Sciences, Polish diaspora in the UK, migration in the UK, Polish migrants, Brexit

**Acknowledgements:** the research was conducted with the support of Doctor of Geographical Sciences Moskovkin Vladimir Mikhailovich.

**For citation:** Ladikov Y.S., Kamyshanchenko E.N. 2022. The Impact of the Brexit Referendum on Migration from the European Union to the UK (on the Example of Polish Migrants). Economics. Information technologies, 49(3): 507–514 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-507-514

## Введение

Миграционная проблема была актуальной до выхода Британии из ЕС и на сегодняшний день является актуальной из-за большого количества привлечения мигрантов в общей рабочей силе Великобритании. В данной статье проводится анализ миграции трудовых мигрантов (на примере польских граждан) в связи с Брексит. Общественное мнение и социологические опросы позволили понять отношение к референдуму и дальнейшее принятие решений, связанных с миграцией, в контексте Брексита [Portes, 2020]. Было изучено отношение к мигрантам в обществе, стратегии дальнейшего развития миграции [McGhee, Moreh, Vlachantoni, 2017]. Чувство принадлежности и влияние на молодых поляков позволили определить их отношение к Брексит [Sime, Moskal, Tyrrell, 2020]. Социальное положение молодых поляков позволило определить мотивы миграционных стратегий [Trąbka, Wermińska-Wiśnicka, 2020].

## Объекты и методы исследования

Цель данной работы – определить динамику миграционных потоков польских граждан после референдума 2016 года и выявить факторы, которые повлияли на их миграционные стратегии. Анализ проводился с привлечением существующих исследований по данной проблеме. В данной статье использовались статистические данные Миграционной обсерватории Оксфордского университета, Национальной статистической службы Великобритании, Центрального статистического управления Польши, Комитета по изучению миграции Польской академии наук. В качестве методов исследования использовалось сравнение статистических данных, анализ уже проведенных социологических исследований. Обоснование результатов изложено эмпирическим путем.

## Результаты и их обсуждение

Миграционная проблема была одним из ключевых факторов референдума «Брексит» в 2016 году. По мнению профессора экономики Королевского колледжа Лондона Jonathan Portes, в общественном мнении страны произошел серьезный сдвиг, в результате которого миграция резко сократилась. А в дополнение к этому, кризис из-за Covid-19 вызвал ожесточенные дискуссии о том, сможет ли Великобритания позволить себе ограничить передвижение европейцев, работающих в критических медицинских и социальных службах, а также более широкие вопросы о роли и статусе иммигрантов в современном Британии. Такое положение было вызвано рядом факторов, во-первых, еще до референдума рост занятости замедлился, но в странах ЕС безработица снижалась. Во-вторых, референдум усилил падение миграции из-за общего экономического положения Британии, которое отразилось на производстве, на обменных курсах, на падении фунта стерлингов. Данные факторы сделали страну менее привлекательной среди потенциальных мигрантов. Также следует отметить правовые и психологические факторы, референдум внес неопределенность, что в дальнейшем сделало Британию менее гостеприимной страной в глазах мигрантов [Portes, 2020].

Согласно Миграционной обсерватории Оксфордского университета [Migration Observatory COMPAS, 2019] в 2019 году в Великобритании проживало 3,6 миллиона мигрантов из ЕС, что составляет 5,5% населения Великобритании. В данном исследовании представлен анализ миграции польских граждан в Великобритании под воздействием двух факторов, которые остаются актуальными в британском обществе и на сегодняшний день – Brexit и пандемия Covid-19 [Migration Observatory COMPAS, 2019].

Одна из важных тем, по мнению исследователей Derek McGhee, Chris Moreh и Athina Vlachantoni [McGhee, Moreh, Vlachantoni, 2017], которая затронула мигрантов польского происхождения после референдума, это вынужденное возвращение на свою родину. Стратегия миграции у поляков зависит также от семейных обязательств перед своими детьми, родителями, родственниками, которые также проживают в Великобритании. Уровень социальной интеграции, знание языка и многие другие факторы являются базой, на основе которой потенциальный мигрант будет принимать решение об отъезде. Членство в ЕС дает не только возможность путешествий без границ, но и возможность «транснациональной жизни», чем многие мигранты активно пользуются. В ходе многочисленных опросов о дальнейшей стратегии миграции исследователи пришли к выводу о дальнейшей неопределенности. На продолжительность пребывания поляков в Британии играет множество факторов, это зависит и от возраста, и от уровня социально-культурной интеграции. В результате этого опроса исследователи считают, что фактор Брексит может потенциально влиять на планы и стратегии мигрантов [McGhee, Moreh, Vlachantoni, 2017].

Референдум «Брексит» и пандемия Covid-19 повлияла с разных сторон на многочисленную польскую диаспору в Великобритании. Исследование, проведенное авторами Daniela Sime, Marta Moskal, Naomi Tyrrell [Sime, Moskal, Tyrell, 2020] с октября 2016 года по апрель 2017 года, в котором приняли участие 1120 человек, было осуществлено с целью выявления в ходе онлайн-опроса чувства идентичности, принадлежности, доступа и использования местных услуг, а также определения отношения к Брексит. В исследовании участвовали молодые люди от 12 до 18 лет из Центрально-Восточной Европы, в том числе и поляки. Большинство участников придерживается транснациональной принадлежности. Но некоторым после референдума не раз приходилось сталкиваться с ксенофобией из-за использования родного языка (польского) в общественных местах Великобритании. И если возвращение на родину возможно рассматривать, то скорее всего это будет являться вынужденным решением. Но не все поляки, родившиеся в Великобритании, в совершенстве владеют своим родным языком, что вызовет сложности при возвращении на родину в получении образования и т. д. Брексит создает некую семейную напряженность, возможность отъезда родителей в Польшу. Тем не менее большинство молодых людей связывают свою принадлежность с Великобританией, но при этом присутствует неопределенность, т. к. некоторые допускают переоценку своих планов на будущее. Многие обеспокоены своими правами после референдума, их право оставаться в Великобритании отражает статус «предварительного переселения» (Pre-Settled status) [Sime, Moskal, Tyrell, 2020].

Еще одно исследование, проведенное польскими социологами Agnieszka Trąbka и Iga Wermińska-Wiśnicka [Trąbka, Wermińska-Wiśnicka, 2020], заключалось в определении влияния Брексита на поведение молодых поляков. Основные выводы гласят, что большинство мигрантов имеют стабильную жизненную ситуацию и не чувствуют никаких негативных влияний, и в случае возникновения таковых, большинство поляков готовы рассмотреть вариант изменения жизненной стратегии, а не возвращение на свою родину. Это объясняется молодым возрастом участников исследования, их более свободными взглядами. Также учитывается обладание собственностью, которое косвенно влияет на чувство принадлежности к Великобритании, что означает большую социальную привязанность, хотя количество людей, имеющих возможность обладать собственностью, невелико. Анализ интервью и опросов позволяет также сделать вывод изначально об отрицательном восприятии мигрантами референдума, но впоследствии эмоции нивелируются. И в целом восприятие жизни в Великобри-



тании считается удовлетворительным. Анализ опросов и интервью являются субъективными данными, поэтому объяснить предпочтения индивидов и их идентичность объективно не представляется возможным [Trąbka, Wermińska-Wiśnicka, 2020].

Важной составляющей Брексита для польских мигрантов является изменение их статуса. На официальном сайте правительства Великобритании размещена информация о возможности мигрантов по-прежнему жить и работать в Великобритании после Брексита в так называемый «переходный период». Мигранты, которые жили в Великобритании до 1 января 2021 года, смогут продолжить жить и работать в этой стране. Для этого им необходимо подать заявку в Систему урегулирования ЕС (the EU Settlement Scheme) на веб-сайте правительства Великобритании. Также обозначен срок до 30 июня 2021 года. И дальше подавать заявки на последующие этапы в зависимости от срока проживания. Любой из членов семьи, не имеющий британского или ирландского гражданства, также должен будет подать заявку. Однако 1 января 2021 года Правительство Великобритании ввело иммиграционную систему на основе баллов (конец свободного передвижения), это применимо как раз к мигрантам из ЕС. Согласно новой системе, страна происхождения отодвигается на второй план, а основополагающими критериями отбора являются навыки и умения. Право постоянно проживать и работать в Великобритании для мигрантов из ЕС будет действовать на общих основаниях со всеми мигрантами [UK Government, 2021].

Согласно Национальной статистической службе Великобритании, опубликовавшей доклад: «Population of the UK by country of birth and nationality: 2016», в 2016 году количество граждан Польши, проживающих в Великобритании, достигло 1 миллиона граждан (табл. 1). Постоянные жители Польши составляют 17 % от общего числа не британских граждан, проживающих в Великобритании. Сравнивая данные за 2016 год с предыдущим годом, можно сделать вывод об увеличении численности польского населения Великобритании на 86 000 человек, что говорит о положительной динамике притока польских мигрантов.

Таблица 1  
Table 1

Структура населения Великобритании по стране рождения и национальности  
 The structure of the UK population by country of birth and nationality

2016 год		2017 год	
Страна рождения	Национальность	Страна рождения	Национальность
1. Польша (911 000 тыс. чел.)	1. Польша (1 млн чел.)	1. Польша (922 000 тыс. чел.)	1. Польша (1 млн чел.)
2. Индия (833 000 тыс. чел.)	2. Индия (362 000 тыс. чел.)	2. Индия (829 000 тыс. чел.)	2. Румыния (411 000 тыс. чел.)
3. Пакистан (534 000 тыс. чел.)	3. Ирландия (355 000 тыс. чел.)	3. Пакистан (522 000 тыс. чел.)	3. Ирландия (350 000 тыс. чел.)
4. Ирландия (389 000 тыс. чел.)	4. Румыния (328 000 тыс. чел.)	4. Румыния (390 000 тыс. чел.)	4. Индия (346 000 тыс. чел.)
5. Румыния (310 000 тыс. чел.)	5. Италия (233 000 тыс. чел.)	5. Ирландия (390 000 тыс. чел.)	5. Италия (297 000 тыс. чел.)

Национальная статистическая служба Великобритании выпустила новый отчет за 2017 год о статистических данных по мигрантам из Польши (см. табл. 1). По сравнению с прошлым годом (2016 г.), численность поляков увеличилась на 11 000 человек, что также свидетельствует о положительной динамике прироста польских мигрантов.

В 2018 году по сравнению с 2017 годом произошло снижение польских мигрантов в Великобританию на 116 000 человек. В 2019 году количество польских мигрантов составило 818 000 человек, прирост составил 12 000 человек по сравнению с 2018 годом. В 2020 году уже с учетом пандемии Covid-19 численность польских мигрантов в Великобритании составила 847 000 человек. Соотношение изменения численности польских мигрантов 2016–2020 гг. отражено на диаграмме (рис. 1).

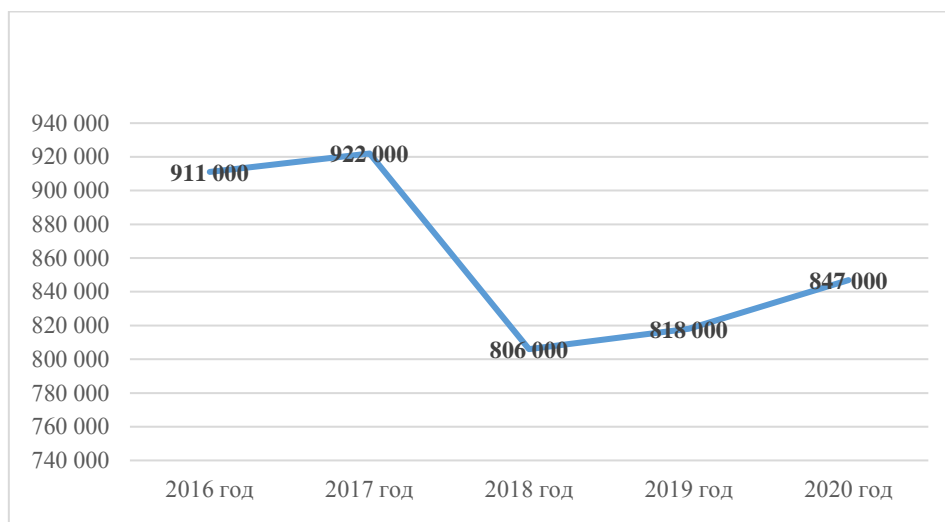


Рис.1. Статистика Великобритании потока польских мигрантов в Великобританию в 2016–2020 гг.  
Fig. 1. UK statistics on the flow of Polish migrants to the UK in 2016–2020

Чтобы отследить динамику миграционного потока польских граждан, необходимо сравнить статистику Великобритании с официальными данными Центрального статистического управления Польши, которое в конце 2020 года представило отчет о динамике миграции 2004–2019 годов. В нем можно проследить изменение численности польских мигрантов в период 2016–2019 гг. (рис. 2.), к сожалению, данные за 2020 год Центральным статистическим управлением Польши не были представлены (на момент написания статьи) [Główny Urząd Statystyczny, 2019].

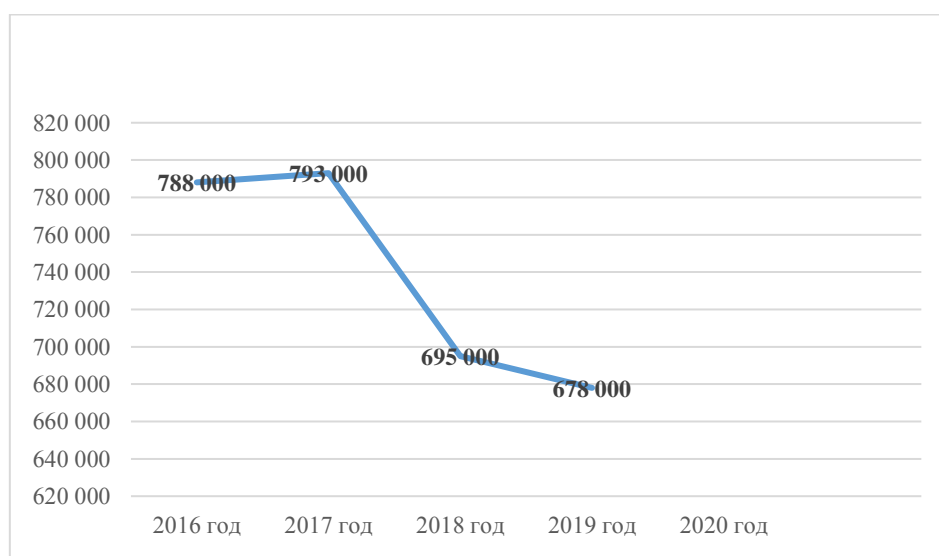


Рис. 2. Польская статистика потока польских мигрантов в Великобританию в 2016–2019 гг.  
Fig. 2. Polish statistics on the flow of Polish migrants to the UK in 2016–2019

Далее необходимо провести сравнительный анализ статистических данных, взятых из официально опубликованных данных Национальной статистической службы Великобритании и данных Центрального статистического управления Польши, чтобы выявить динамику (рис. 3).

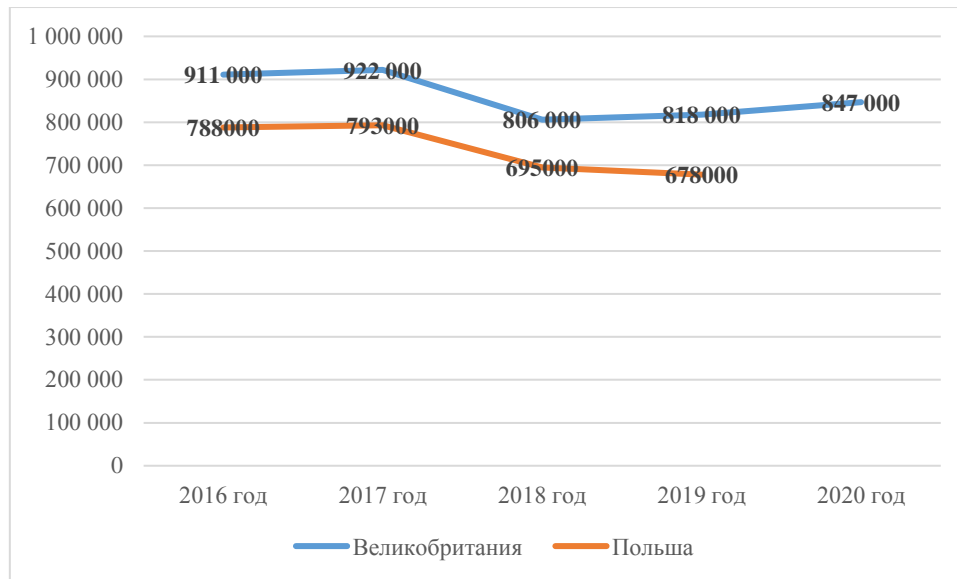


Рис.3. Сравнение британских и польских данных по миграционному потоку польских мигрантов в Великобританию 2016–2020 гг.

Fig. 3. Comparison of British and Polish data on the migration flow of Polish migrants to the UK in 2016–2020

Исходя из приведенной диаграммы (см. рис. 3) можно сделать вывод о том, что потоки мигрантов из Польши в Великобританию, взятые в двух официальных источниках, различаются. Данные статистики Польши являются заниженными, по сравнению со статистикой Великобритании (погрешность составляет примерно 100 тыс. человек). В обоих источниках в 2018 году прослеживается значительный спад миграционных потоков из Польши в Великобританию, но к 2020 году (ориентируясь на данные британской статистики) динамика миграционного потока из Польши стала выравниваться и незначительно возрастать.

Данные статистики подтверждают социологические исследования, проведенные ранее польскими и британскими авторами, о незначительном влиянии Брексита на стратегию польских мигрантов. Также в докладе, проведенном Центром миграционных исследований Варшавского университета (Aleksandra Szkudlarek), говорится, что 51 % поляков собирались подать заявку на постоянное проживание (2017 год), будучи уже осведомленными о референдуме [Szkudlarek, 2019]. Возможно, спад миграционного потока польских граждан в Великобританию в 2018 году появился из-за неопределенности переходного периода референдума. Динамика миграции из ЕС в целом предоставлена Национальной статистической службой Великобритании в ежеквартальном отчете по статистике миграции 2020 года, где на диаграмме (рис. 4) синей кривой показаны мигранты не из стран ЕС, желтой кривой представлены мигранты из стран ЕС, голубой пунктирной кривой представлены британские граждане. По оси ординат отмечено количество человек в тысячах, по оси абсцисс указан период с 2011 по 2020 гг. Отсюда видно, что произошло снижение мигрантов из ЕС с 200 тыс. человек в марте 2015 года до 50 тыс. человек к марту 2018 года, снижение составило 150 тыс. человек. Из этого можно сделать вывод о том, что неопределенность из-за последствий референдума повлияла на всех мигрантов из ЕС, а не только на польских мигрантов, но впоследствии (после 2018 года) миграция из ЕС стабилизировалась [UK Government, 2020].

Официальные данные польской и британской статистики также подтверждаются другим исследованием, проведенным Katarzyna Winięcka (Миграционные исследования – Обзор польской диаспоры 2020). В очном анонимном опросе (проходил в форме интервью) приняли

участие 25 поляков, проживающих в Лондоне. В результатах отражено, что Брексит не особо повлиял на мнение мигрантов о дальнейшей миграционной стратегии. Есть некая нестабильность, но польские мигранты считают, что ограничение миграции в Великобританию сможет, наоборот, улучшить их положение на рынке труда, предоставив больше возможностей. Есть некоторые опасения по поводу роста цен из-за референдума, изменения стоимости образования для собственных детей, в целом опасения носят экономический характер. Большинство опрошенных пришли к выводу, что Брексит не поменяет кардинально их жизнь, пандемия Covid-19 является более насущной проблемой для них [Studia Migracyjne, 2020].

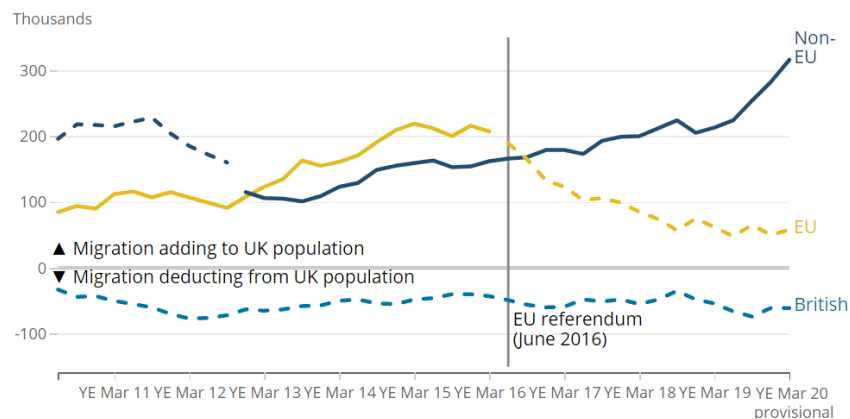


Рис. 4. Миграция в Великобританию граждан из стран, не входящих в ЕС, входящих в ЕС и британских граждан, 2020 г.

Fig. 4. Migration to the UK of non-EU, EU and British citizens, 2020

### Заключение

Проведенное исследование позволило выявить основные факторы, которые оказали влияние на миграционные потоки польских граждан в Великобританию – Брексит и пандемия Covid-19. Небольшой спад миграционного потока польских граждан в Великобританию наблюдался в 2018 году, что было связано с политической неопределенностью, появившейся в результате референдума Брексит. Несмотря на присутствие изменений в жизни польских мигрантов в британском обществе, их мотивы дальнейших миграционных стратегий практически не поменялись в 2016–2020 гг. Уровень жизни Британии остается до сих пор привлекательным для польских мигрантов. Насущной проблемой на сегодняшний день во всем британском обществе является преодоление последствий пандемии Covid-19. Данные результаты могут быть применимы в построении миграционных и внешнеэкономических связей как Великобритании, так и ее торговых партнеров.

### Список источников

- Guidance «The UK's points-based immigration system: information for EU citizens». URL: <https://www.gov.uk/guidance/the-uks-points-based-immigration-system-information-for-eu-citizens#aanvragen-via-punten-gebaseerd-immigratiesysteem> (date of access: 10 July 22)
- Główny Urząd Statystyczny «Informacja o rozmiarach i kierunkach czasowej emigracji z Polski w latach 2004-2019». URL: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ludnosc/migracje-zagraniczne-ludnosc/informacja-o-rozmiarach-i-kierunkach-czasowej-emigracji-z-polski-w-latach-2004-2019,2,13.html> (date of access: 10 July 22)
- “Migration Statistics Quarterly Report: August 2020”. URL: <https://www.ons.gov.uk/peoplepopulationandcommunity/populationandmigration/internationalmigration/bulletins/migrationstatisticsquarterlyreport/latest#migration-to-and-from-the-uk> (date of access: 10 July 22)
- Reports «Locking out the keys? Migrant key workers and post-Brexit immigration policies» The Migration Observatory COMPAS (Centre on Migration, Policy and Society), University of Oxford. URL:



<https://migrationobservatory.ox.ac.uk/resources/reports/locking-out-the-keys-migrant-key-workers-and-post-brexit-immigration-policies/> (date of access: 10 July 22)

### Список литературы

- Agnieszka Trąbka, Iga Wermińska-Wiśnicka. 2020. Niejednoznaczny wpływ Brexitu na życie młodych Polaków w Wielkiej Brytanii. *Studia Migracyjne – Przegląd Polonijny*, (XLVI), 4 (178): 49–70.
- Derek McGhee, Chris Moreh, Athina Vlachantoni. 2017. An ‘undeliberate determinacy’? The changing migration strategies of Polish migrants in the UK in times of Brexit. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 43(13): 2109–2130.
- Jonathan Portes. 2020. *Between the Lines: Immigration to the UK between the Referendum and Brexit*. Brexit Institute, WPN, 12: 2–3.
- Sime D., Moskal M., Tyrell N. 2020. Going back, staying put, moving on - Brexit and the future imaginaries of the 1.5-generation of EU migrants in Britain, *Central and East European Migration Review*, 9(1): 85–100. DOI:10.17467/ceemr.2020.03
- Studia Migracyjne – Przegląd Polonijny*. 2020. Polscy migranci w Londynie w obliczu Brexitu – (re)adaptacja? Wyniki badań wstępnych, XLVI, 4(178): 86–87.
- Szkudlarek Aleksandra. 2019. Brexit i co dalej? Dylematy polskich migrantów poakcesyjnych w Wielkiej Brytanii, *CMR Working Papers*, University of Warsaw, Centre of Migration Research (CMR), Warsaw, 117/175: 42–43.

### References

- Agnieszka Trąbka, Iga Wermińska-Wiśnicka. 2020. Niejednoznaczny wpływ Brexitu na życie młodych Polaków w Wielkiej Brytanii. *Studia Migracyjne – Przegląd Polonijny*, (XLVI), 4 (178): 49–70.
- Derek McGhee, Chris Moreh, Athina Vlachantoni. 2017. An ‘undeliberate determinacy’? The changing migration strategies of Polish migrants in the UK in times of Brexit. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 43(13): 2109–2130.
- Jonathan Portes. 2020. *Between the Lines: Immigration to the UK between the Referendum and Brexit*. Brexit Institute, WPN, 12: 2–3.
- Sime D., Moskal M., Tyrell N. 2020. Going back, staying put, moving on - Brexit and the future imaginaries of the 1.5-generation of EU migrants in Britain, *Central and East European Migration Review*, 9(1): 85–100. DOI:10.17467/ceemr.2020.03
- Studia Migracyjne – Przegląd Polonijny*. 2020. Polscy migranci w Londynie w obliczu Brexitu – (re)adaptacja? Wyniki badań wstępnych, XLVI, 4(178): 86–87.
- Szkudlarek Aleksandra. 2019. Brexit i co dalej? Dylematy polskich migrantów poakcesyjnych w Wielkiej Brytanii, *CMR Working Papers*, University of Warsaw, Centre of Migration Research (CMR), Warsaw, 117/175: 42–43.

**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

**Ладиков Ярослав Сергеевич**, магистрант кафедры мировой экономики, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Yaroslav S. Ladikov**, Master's student of the Department of World Economy, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Камышанченко Елена Николаевна**, доктор педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой мировой экономики, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Elena N. Kamyshanchenko**, Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of World Economy, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 334.726+330.43

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-515-528

## Модель многофакторного анализа конкурентоспособности корпоративных структур

Лян Тин

Московский педагогический государственный университет  
Россия, 119991, г. Москва, ул. Малая Пироговская, дом 1, строение 1  
E-mail: liangyiying521@gmail.com

**Аннотация.** Выделены основные методические подходы к анализу конкурентоспособности корпоративных структур, которые в отличие от одного описательного подхода носят количественный характер. Дана их краткая характеристика. Один из подходов, построенный на основе корреляционно-регрессионного анализа, был развит до уровня построения мультипликативной многофакторной модели, которая для двух факторов близка к производственной функции Кобба – Дугласа. Разработанная экономико-статистическая модель многофакторного анализа конкурентоспособности корпорации позволяет осуществлять комплексное исследование конкурентоспособности развития корпоративных структур, ранжировать выделенные внутренние и внешние факторы с точки зрения влияния на процесс обеспечения конкурентоспособности, аргументировать организационно-экономические механизмы генерирования перспективных конкурентных преимуществ развития корпорации. Построенная для семи факторов математическая модель конкурентоспособности корпоративных структур апробирована на статистико-аналитических данных двух компаний: ПАО «Камаз» (Россия) и BAIC Group (КНР). Эти конкретные модели позволили выявить наиболее весомые факторы повышения конкурентоспособности рассматриваемых компаний.

**Ключевые слова:** конкурентоспособность корпоративных структур, организационно-экономические механизмы, экономико-статистическая модель, многофакторный анализ, мультипликативная многофакторная модель, ПАО «Камаз», BAIC Group

**Для цитирования:** Лян Тин. 2022. Модель многофакторного анализа конкурентоспособности корпоративных структур. Экономика. Информатика, 49(3): 515–528. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-515-528

---

## Model of Multivariate Analysis of the Competitiveness of Corporate Structures

Liang Ting

Moscow Pedagogical State University  
1 Malaya Pirogovskaya St, building1, Moscow, 119991, Russia  
E-mail: liangyiying521@gmail.com

**Abstract.** The main methodological approaches to the analysis of the competitiveness of corporate structures are identified, which, unlike a single descriptive approach, are quantitative in nature. Their brief description is given. One of the approaches, built on the basis of correlation-regression analysis, has been developed to the level of building a multiplicative multifactorial model, which for two factors is close to the Cobb-Douglas production function. The developed economic-statistical model of multivariate analysis of the competitiveness of a corporation makes it possible to carry out a comprehensive study of the competitiveness of the development of corporate structures, to rank the identified internal and external factors in terms of their influence on the process of ensuring competitiveness, to argue organizational and economic mechanisms for generating promising competitive advantages of the development of a corporation. The mathematical model of the competitiveness of corporate structures built for seven factors was tested on the statistical and analytical data of two companies: PJSC “Kamaz” (Russia) and BAIC Group (PRC). These specific models have identified the most significant factors in improving the competitiveness of the companies in question.





**Keywords:** competitiveness of corporate structures, organizational and economic mechanisms, economic and statistical model, multivariate analysis, multiplicative multivariate model, PJSC "Kamaz", BAIC Group

**For citation:** Liang Ting. 2022. Model of Multivariate Analysis of the Competitiveness of Corporate Structures. Economics. Information technologies, 49(3): 515–528 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-515-528

## Введение

Результативность управления конкурентоспособностью корпоративных структур, обоснование действенных организационно-экономических механизмов ее обеспечения непосредственно зависят от качества и репрезентативности применения различных групп методических подходов к количественной оценке уровня конкурентоспособности и обоснованию факторов и резервов ее повышения в конкретных финансово-экономических условиях. Основные методические подходы к анализу конкурентоспособности корпоративных структур систематизированы нами в таблице 1.

Таблица 1  
Table 1

Основные методологические подходы к анализу конкурентоспособности корпоративных структур  
 (систематизировано автором)  
 The main methodological approaches to the analysis of the competitiveness of corporate structures  
 (systematized by the author)

Методологические подходы к анализу конкурентоспособности корпоративных структур	Содержание методологических подходов к анализу конкурентоспособности корпоративных структур	Сфера и условия применения методологического подхода
1	2	3
1. Дескриптивные (описательные) методы	Анализ общих трендов изменения конкурентоспособности без количественной верификации индикаторов	Используется в случаях, когда количественные индикаторы развития корпоративных структур являются недостаточно достоверными
2. Социологические методы	Опросы, анкетирование и интервьюирование сотрудников компаний или их внешних контрагентов относительно факторов и проблем конкурентоспособности	Используется при возможности оценки репрезентативности социологического инструментария
3. Матричный (портфельный) подход	Конструирование стратегической матрицы анализа конкурентоспособности на основании не менее двух индикаторов	Позволяет наглядно представить позиционирование конкурентоспособности корпоративной структуры
4. Анализ тенденций изменения финансовых и экономических показателей деятельности корпорации	Анализ трендов изменения наиболее значимых абсолютных и относительных показателей, характеризующих различные аспекты обеспечения конкурентоспособности (рентабельность, ликвидность, финансовая устойчивость организации и т. п.)	Используется при условии высокого уровня репрезентативности финансовой отчетности развития корпоративной структуры
5. Экспертные методы	Исследование квалифицированными отраслевыми экспертами (индивидуальное или коллегиальное) тенденций и проблем обеспечения конкурентоспособности корпоративной структуры.	Применяется при условии значимого уровня квалификации отраслевых экспертов, использования инструментария оценки конкурентоспособности экспертных оценок.

Окончание табл. 1

1	2	3
6. Анализ стоимости компании	Рост стоимости корпорации рассматривается в качестве одного из основных индикаторов повышения уровня ее конкурентоспособности	Применяется в сфере инвестиционного анализа при условии корректной возможности определения стоимости корпорации.
7. Индексный метод	Построение индексов, характеризующих конкурентоспособность национальных экономических систем и конкурентного развития отдельных корпораций	Индексы применяются преимущественно для исследования конкурентоспособности государств или регионов, а не конкурентного развития корпораций
8. Функциональный (корреляционно-регрессионный) анализ	Оценка влияния на процессы формирования конкурентоспособности определенных внутренних и внешних факторов за ряд периодов, как правило не менее 7–9 наблюдений (лет, кварталов)	Применяется при высоких значениях статистических оценочных параметров, таких как коэффициенты корреляции и детерминации.
9. Формирование ССП (сбалансированной системы показателей) в соответствии с методологией Р. Каплана и Д. Нортон	Оценка конкурентоспособности корпоративной структуры через призму степени сбалансированности таких значимых блоков показателей, характеризующих различные аспекты обеспечения конкурентоспособности, как доля на рынке, производственный потенциал, инновационное развитие, человеческий капитал фирмы.	Используется при наличии корректной процедуры балансировки различных групп индикаторов развития корпорации.
10. Формирование конкурентного профиля корпоративной структуры	Графическое изображение отдельных тенденций и факторов обеспечения конкурентоспособности корпоративной структуры	Метод позволяет рассматривать в единой системе координат различные элементы и факторы обеспечения конкурентоспособности современных корпораций.

Все эти методологические подходы (методы или группы методов), кроме первого описательного подхода, носят количественный характер.

Социологический методологический подход позволяет измерять отношение к корпоративной структуре потребителей или иных групп контрагентов, например, рыночных партнеров. Наиболее распространенными методами в рамках данного подхода являются опрос, анкетирование и глубинное интервью. Основным недостатком данного подхода является выраженный субъективизм оценки конкурентоспособности корпоративной структуры. Этот подход наиболее широко, как социально-психологический подход, изложен в работе [Емельянова, 2013].

Матричный методологический подход является наиболее распространенным в теории и практике оценки конкурентоспособности. Разработан в 1960-ых годах американскими консалтинговыми компаниями с использованием матричной формы для представления оценки и анализа компании [Воронов, 2016]. В наиболее общем виде матрица анализа конкурентоспособности в разрезе отдельных СЗХ (стратегических зон хозяйствования корпоративной структуры) была построена в работе [Фатхутдинов, 2019]

В 1980–2000 гг. в теории и практике оценки конкурентоспособности компаний стали активно применяться методы, основанные на изучении динамики ключевых экономических индикаторов компаний и их рыночной стоимости. При прочих равных условиях, наиболее конкурентоспособной в рамках данного методологического подхода признается та корпоративная структура, стоимость которой максимизируется в долгосрочном периоде. Эти методы также называются динамическими, и они наиболее детально описаны в работах [Воронов, 2001; Криворотов, 2007; Воронов, 2014].



Экспертный подход является также достаточно распространённым инструментарием оценки конкурентоспособности корпоративных структур. Наиболее распространённый вариант оценки уровня конкурентоспособности корпоративной структуры экспертным методом предложен в работе [Панова, 2019].

Метод оценки стоимости компаний и бизнеса наиболее полно описан в работах [Коупленд, Коллер, Муррин, 2000; Тихомиров, 2009; Криворотов и др., 2013].

Содержание индексного метода исследования конкурентоспособности заключается в формировании некоторых агрегированных индикаторов, комплексно характеризующих условия конкурентного развития экономических систем различного уровня – государства, региона, конкретной корпорации. Обычно интегральный показатель конкурентоспособности компании определяется с помощью вычисления средневзвешенного значения частных индикаторов конкурентоспособности компании. Наиболее детально методы расчёта интегральных показателей приведены в работах [Баумгартен, 2005; Воловиков, 2011; Томсон, Стриклед, 2007; Фасхиев, 2003].

Индексные методы, к которым относятся и рейтинговые модели (методы), являются операционными методами [Воронов, 2013]. Использовать их способны только специализированные организации и рейтинговые агентства.

Один из наиболее известных индексов конкурентоспособности – глобальный индекс (GCI). Данный индекс, регулярно рассчитываемый аналитиками ВЭФ экспертным путем, традиционно используется и для укрупнённой оценки условий обеспечения конкурентоспособности компаний корпоративного сектора национальной экономики.

Уровень конкурентоспособности национальной экономики, в т. ч. и в части формирования условий для повышения конкурентоспособности корпоративных структур, может быть измерен на основании индекса TI – индекса транспарентности (информационной прозрачности) экономического развития, регулярно рассчитываемого по шкале от 0 до 100 баллов для всех государств мировой экономики специалистами аналитической компании Transparency International.

Экономико-математические, и в частности эконометрические, методы очень широко используются при оценке конкурентоспособности предприятий и их продукции. Наиболее часто из этих методов используется корреляционно-регрессионный анализ. При помощи корреляционно-регрессионного анализа можно определить характер влияния внутренних и внешних факторов на финансово-экономические результаты функционирования корпоративной структуры (прибыль, рентабельность).

Методология сбалансированной системы показателей стала использоваться в целях исследования конкурентоспособности корпораций относительно недавно (с конца 1990 гг.). Классическая методология сбалансированной системы показателей развития коммерческих организаций (ССП) была разработана американскими исследователями Р. Капланом и Д. Нортонем [Каплан, Нортон, 2021] в 1990 гг. В целом методология и методический инструментарий сбалансированной системы показателей отражают особенности формирования различных видов потенциала организационного развития: в финансовом плане, производственных возможностях функционирования и развития предприятия, потенциале обучения и развития, который имеет, по нашему мнению, принципиальное значение в современной экономике, которая может быть охарактеризована, как экономика знаний и т. п.

Для комплексного исследования уровня конкурентоспособности развития корпоративных структур также может быть использован методический инструментарий формирования конкурентного профиля корпорации в варианте, аргументированном в работе [Сафиуллин, Сабирова, 2013]. В рамках указанного подхода при анализе конкурентоспособности компании выделяются показатели, характеризующие эффективность использования основных фондов корпорации и материальных затрат, а также интенсивность инновационного процесса.

Достоинством метода построения конкурентного профиля корпоративной структуры, по нашему мнению, является использование в единой системе координат таких значимых и одновременно разноплановых характеристик конкурентного развития корпорации, как производственный потенциал, интеллектуальный капитал, финансовое состояние организации, а также качество корпоративного управления. Кроме того, данный метод является достаточно наглядным. Вместе с тем в его рамках не решена проблема сбалансированности различных

по размерности социально-экономических и финансовых показателей, отражающих различные аспекты обеспечения конкурентоспособности корпоративной структуры.

Обычно в рамках функционального анализа (подхода) рассматриваются однофакторные корреляционно-регрессионные модели. Мы решили восполнить этот пробел и построить экономико-статистическую модель многофакторного анализа конкурентоспособности корпоративной структуры.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования выступают две крупные корпорации по производству грузового автотранспорта ПАО «Камаз» (Россия) и BAIC Group (КНР). В качестве источников эмпирической информации использовались данные планово-аналитических подразделений этих корпораций.

Предлагаемую многофакторную модель представим в мультипликативном виде (1):

$$DM = S^{a1} * K_g^{a2} * Z_p^{a3} * \Pi^{a4} * V^{a5} * P^{a6} * \Gamma^{a7}, \quad (1)$$

где  $DM$  – доля корпоративной структуры на отраслевом рынке, % (национальном рынке, если корпорация ориентирована преимущественно на внутреннее потребление продукции или услуг, или мировом рынке, если исследуется деятельность международной корпоративной структуры);

$S$  – количество собственников средств производства корпоративной структуры (акционеров, инвесторов);

$K_g$  – коэффициент годности основных фондов организации;

$Z_p$  – средний уровень заработной платы сотрудников корпоративной структуры;

$\Pi$  – инвестиции в НИОКР и инновации корпоративной структуры;

$V$  – средний за рассматриваемый период валютный курс национальной валюты корпоративной структуры (того государства, в котором она ведет основную операционную деятельность) к доллару США – основной мировой резервной валюте;

$P$  – средняя процентная ставка по заемным средствам (банковским кредитам и корпоративным облигациям), привлекаемым корпоративной структурой;

$\Gamma$  – темп изменения биржевого индекса того государства, в рамках финансовых рынков которого корпорация осуществляет основные биржевые заимствования (или средний темп роста нескольких биржевых индексов, если корпорация осуществляет значительные процессы привлечения фондового капитала на рынках ценных бумаг нескольких государств; для компаний, которые напрямую не взаимодействуют с потенциалом фондового рынка, данный параметр может быть исключен из модели);

$a_1, a_2 \dots a_7$  – критерии эластичности при факторных переменных модели, демонстрирующие, на сколько процентов в среднем изменится значение результирующей переменной ( $DM$ ) при увеличении соответствующей факторной переменной на 1% – отражают сравнительную степень влияния факторных параметров модели на динамику конкурентоспособности исследуемой корпоративной структуры по параметру доли на рынке.

Таким образом, в состав факторных переменных предлагаемой экономико-статистической модели включены как параметр корпоративной структуры (количество собственников), так и основные качественные характеристики факторов производства корпорации (капитала, труда, инновационной активности), а также наиболее значимые переменные внешних финансовых рынков, оказывающих влияние на обеспечение конкурентоспособности компании (кредитного рынка, валютного рынка, фондового рынка).

В качестве же результирующей переменной модели использован параметр доли на отраслевом рынке сбыта, который, по мнению, в частности, таких ведущих специалистов в области менеджмента конкурентных преимуществ современных компаний, как М. Портер [Портер, 2021] и И. Адизес [Адизес, 2020], является одним из наиболее общих интегральных критериев уровня конкурентоспособности деятельности организации. Действительно, динамика доли на отраслевом рынке сбыта в конечном итоге демонстрирует наиболее общий уровень эффективности стратегии управления конкурентоспособностью практически любой современной корпоративной структуры производственного, торгового или финансового профиля.



После построения предлагаемой экономико-статистической функции многофакторного анализа конкурентоспособности целесообразно сопоставление фактических значений коэффициентов ее эластичности с их наиболее предпочтительными диапазонами, при которых формируются условия для максимально полной реализации конкурентных преимуществ современных корпоративных структур (табл. 2).

Таблица 2  
 Table 2

Наиболее предпочтительные с точки зрения обеспечения конкурентоспособности диапазоны изменения коэффициентов эластичности при факторных переменных предлагаемой модели (составлено автором)

From the point of view of ensuring competitiveness, the most preferable ranges of changes in elasticity coefficients for the factor variables of the proposed model (compiled by the author)

Коэффициент эластичности	Наиболее предпочтительный диапазон изменения
a1	→0
a2	>1
a3	>1
a4	>1, >a2, >a1
a5	→0
a6	-1<, <0
a7	→0

Таким образом, как показано в таблице, наиболее удовлетворительная ситуация в части обеспечения конкурентоспособности корпоративной структуры достигается при условии, когда изменения состава и структуры собственников, например, появление новых групп акционеров компании или, напротив, процессы консолидации капитала, не оказывают статистически значимого влияния на динамику конкурентоспособности организации, динамику ее доли на отраслевом рынке. Об этом и свидетельствует предпочтительно близкое к нулю значение коэффициента эластичности a1 модели.

Напротив, потенциально предпочтительным является прямое и эластичное влияние факторов труда, капитала и инновационной активности на динамику доли корпорации на рынке, что и отражается в рамках приведенных в таблице диапазонов коэффициентов при соответствующих факторных переменных. Так, рост коэффициента годности основного капитала корпорации должен оказывать прямое и эластичное, маргинальное влияние на обеспечение конкурентоспособности через механизмы повышения эффективности использования основных производственных фондов организации; рост средней заработной платы – через процессы ускоренного увеличения уровня производительности труда персонала корпоративной структуры, увеличение инновационной активности – посредством механизмов положительного влияния инновационных изменений на рост объемов продаж продукции, работ, услуг организации на соответствующих отраслевых рынках.

Вместе с тем наиболее предпочтительное влияние таких факторных переменных модели, как параметры фондового, валютного и кредитного рынков, на динамику конкурентоспособности должно быть неэластичным, близким к нулю, с тем чтобы возможные резкие колебания такого рода параметров, обычно обусловленные спекулятивными рыночными детерминантами, не оказали значимого воздействия на конкурентные позиции компании на отраслевом рынке сбыта.

Для апробации модели (1) нами брались данные по ПАО «Камаз», одной из крупнейших корпораций по производству грузового автотранспорта в мировой экономике, и VAIC Group (КНР), одним из основных направлений производственной деятельности которой также является создание грузовых автомобилей (56,1 % продуктового портфеля корпоративной структуры в 2020 г.). Эти исходные данные приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3  
 Table 3

Исходные данные для апробации модели многофакторного анализа конкурентоспособности корпоративной структуры на материалах ПАО «Камаз»  
 Initial data for approbation of the model of multivariate analysis of the competitiveness of the corporate structure on the materials of PJSC "Kamaz"

Годы	Доля на глобальном рынке продаж грузового автотранспорта, %	Количество акционеров, тыс.	Коэффициент стоимости ОПФ	Средняя заработная плата персонала, тыс. руб. в месяц	Инвестиции в НИОКР и инновации, млрд. руб.	Среднегодовой курс рубля к доллару США, руб.	Средняя процентная ставка по кредитам, привлекаемым корпорациями	Среднегодовой индекс ММВБ-RTS
2013	7,6	51,3	47,3	32,6	7,4	47,8	11,8	1318
2014	7,8	51,7	47,4	33,4	7,2	53,8	10,7	1459
2015	8,4	47,8	47,8	37,8	6,3	57,9	12,1	1471
2016	8,7	45,4	50,1	38,7	8,1	60,9	10,6	1512
2017	8,8	45,3	51,2	41,2	10,2	62,3	10,9	1932
2018	8,6	44,8	51,4	44,7	11,7	65,8	11,4	2211
2019	8,2	43,2	52,8	45,3	12,8	64,1	11,2	2734
2020	7,4	46,9	53,7	45,9	6,4	66,7	13,4	3102

Источник: Данные планово-аналитического отдела ПАО «Камаз»  
 Source: Data from the Planning and Analytical Department of PJSC "Kamaz"

Таблица 4  
 Table 4

Исходные данные для апробации модели многофакторного анализа конкурентоспособности корпоративной структуры на материалах ВАИС Group (КНР)

Initial data for approbation of the model of multivariate analysis of the competitiveness of the corporate structure on the materials of ВАИС Group

Годы	Доля на глобальном рынке продаж грузового автотранспорта, %	Количество акционеров, тыс.	Коэффициент годности ОПФ	Средняя заработная плата персонала, тыс. юаней. в месяц	Инвестиции в НИОКР и инновации, млрд. юаней.	Средне-годовой курс юаня к доллару США, юаней.	Средняя ставка по кредитам, привлекаемым корпорациями	Среднегодовой фондовый индекс КНР (CSI 1000)
2013	3,8	7,9	66,4	5,8	2,1	5,18	11,8	1300
2014	3,6	7,5	66,8	5,8	2,7	5,33	10,7	1420
2015	4,1	8,1	67,1	6,2	3,2	5,31	12,1	1440
2016	4,4	8,1	67,3	6,4	3,8	5,82	10,6	1550
2017	4,7	8,2	68,4	6,7	4,2	6,11	10,9	1940
2018	4,8	8,4	66,2	7,1	4,9	6,72	11,4	2901
2019	5,1	8,7	67,3	7,6	7,1	7,14	11,2	3810
2020	5,7	8,7	66,8	7,2	4,9	6,32	13,4	4100

Источник: Данные аналитического подразделения корпорации ВАИС Group (КНР)  
 Source: Data from the analytical division of the ВАИС Group Corporation (China)

### Результаты и обсуждение

На основании данных, приведенных в таблице 3, нами построена следующая статистически устойчивая многофакторная корреляционно-регрессионная модель (2):

$$DM = S^{-0,63} * K g^{0,78} * Z p^{-1,46} * П^{0,3} * V^{1,58} * P^{0,89} * В I^{0,32}. \quad (2)$$

Статистические параметры модели представлены в таблице 5.

Таблица 5  
Table 5

Экономико-статистические параметры предлагаемой модели многофакторного анализа конкурентоспособности корпоративной структуры на материалах ПАО «Камаз»  
 Economic and statistical parameters of the proposed model of multivariate analysis of the competitiveness of the corporate structure on the materials of PJSC "Kamaz"

Регрессионная статистика				
Множественный R	0,999981207			
R-квадрат	0,999962414			
Нормированный R-квадрат	-0,000263099			
Стандартная ошибка	0,036442958			
Наблюдения	8			
Дисперсионный анализ				
	df	SS	MS	F
Регрессия	7	35,3337466	5,047678086	3800,707245
Остаток	1	0,001328089	0,001328089	
Итого	8	35,33507469		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	T-статистика	P-Значение
Переменная X1	-0,632798537	3,682905007	-0,171820488	0,891673431
Переменная X2	0,784007345	2,393695021	0,327530173	0,798497969
Переменная X3	-1,462874163	9,963795704	-0,146818964	0,907195182
Переменная X4	0,305304521	1,070514224	0,285194269	0,823135045
Переменная X5	1,589112884	6,220074679	0,255481319	0,840761748
Переменная X6	0,892621808	4,890673965	0,182515092	0,885072289
Переменная X7	-0,328485354	0,321885242	-1,020504549	0,493539656

Как следует из (2), фактические коэффициенты эластичности построенной многофакторной функции существенным образом отличаются от аргументированных нами ранее (табл. 2) наиболее предпочтительных диапазонов изменения.

Соответственно, наиболее приоритетными направлениями совершенствования организационно-экономического механизма управления конкурентоспособностью ПАО «Камаз», которые могут быть определены посредством апробации разработанной модели, являются:

- совершенствование управления корпоративными отношениями и корпоративным капиталом, возможно посредством консолидации последнего, посредством привлечения новых крупных стратегических инвесторов и т. п. (аномальное достаточно существенное отрицательное значение  $a_1 = -0,63$ );

- качественное совершенствование механизмов стимулирования труда персонала ПАО, например, посредством развития KPI, опционов для менеджмента промышленной корпорации и т. п. (аномальное отрицательное значение  $a_3 = -1,46$ , свидетельствующее о том, что даже простой рост средней оплаты труда в корпорации в 2013–2020 гг. не приводил к увеличению уровня конкурентоспособности по параметру доли отраслевого рынка);





– уменьшение зависимости конкурентоспособности развития ПАО «Камаз» от флуктуаций валютного курса рубля (аномальное эластичное значение  $a_5 = 1,58$ ), в первую очередь посредством более активного использования материалов и комплектующих отечественного производства, в первую очередь производимого в рамках автомобилестроительного кластера, центром которого является ПАО «Камаз».

На основании данных, приведенных в таблице 4, нами построена следующая статистически устойчивая многофакторная корреляционно-регрессионная модель (3):

$$DM = S^{4,3} * K_g^{1,64} * Z_p^{5,87} * \Pi^{0,33} * V^{1,41} * P^{0,88} * B_I^{0,81}. \quad (3)$$

Статистические параметры модели представлены в таблице 6.

Таблица 6  
Table 6

Экономико-статистические параметры предлагаемой модели многофакторного анализа конкурентоспособности корпоративной структуры на материалах BAIC Group (КНР)  
 Economic and statistical parameters of the proposed model of multivariate analysis of the competitiveness of the corporate structure on the materials of BAIC Group (PRC)

Регрессионная статистика				
Множественный R	0,999999985			
R-квадрат	0,999999971			
Нормированный R-квадрат	-2,03186E-07			
Стандартная ошибка	0,000725796			
Наблюдения	8			
Дисперсионный анализ				
	df	SS	MS	F
Регрессия	7	18,14820795	2,592601136	4921600,607
Остаток	1	5,2678E-07	5,2678E-07	
Итого	8	18,14820848		
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	T-статистика	P-Значение
Переменная X1	4,300715713	0,054716922	78,59937197	0,008099116
Переменная X2	-1,643149324	0,011690498	-140,554264	0,004529276
Переменная X3	-5,872575623	0,091926136	-63,88363367	0,009964489
Переменная X4	0,332975763	0,007973502	41,76029114	0,015241707
Переменная X5	1,411149323	0,027314011	51,66393712	0,012320785
Переменная X6	0,488491451	0,007516041	64,99318236	0,009794405

Как следует из (3), коэффициенты эластичности при многофакторной функции анализа конкурентоспособности развития BAIC Group по абсолютной величине в целом существенно выше значений аналогичных показателей, полученных на основании статистики ПАО «Камаз» (функция 2). Это свидетельствует о том, что политика обеспечения конкурентоспособности BAIC Group более чувствительна к влиянию внутренних и внешних финансово-экономических факторов. В значительной степени, по нашему мнению, подобная ситуация связана с тем, что ПАО «Камаз» является структурным подразделением крупной федеральной корпоративной структуры ГК «Ростех», что определенным образом уменьшает негативное влияние возможных флуктуаций внешних финансово-экономических факторов на деятельность данной компании в целом и процессы обеспечения конкурентоспособности ее развития в том числе. Промышленная же корпорация КНР BAIC Group в такого рода государственных холдинговых объединениях участия не принимает; доминантным источником ее финансового обеспечения выступает частный капитал.

Основными направлениями совершенствования организационно-экономических механизмов обеспечения конкурентоспособности деятельности ВАIC Group, которые могут быть определены на основании исследования коэффициентов эластичности функции (3), являются:

– увеличение количества собственников корпорации, в т. ч. за счет возможной организации дополнительной эмиссии акций ( $a_1=4,3$ ), что позволит, при прочих равных условиях, повысить уровень конкурентоспособности развития данной промышленной корпоративной структуры как за счет привлечения нового капитала и, соответственно, реализации дополнительных инвестиционных проектов, так и в результате повышения качества корпоративного управления;

– совершенствование управления инновационными процессами и НИОКР корпорации (необходимость повышения эластичности влияния инвестиций в НИОКР на динамику доли ВАIC Group на отраслевом рынке сбыта,  $a_4 = 0,33$ );

– уменьшение зависимости управления конкурентоспособностью ВАIC Group от флуктуаций курса юаня по отношению к доллару ( $a_5 = 1,41$ ), в первую очередь за счет активизации проникновения на рынки сбыта продукции государств – партнеров КНР по ШОС и БРИКС, развитие которых в большинстве случаев слабо зависит от тенденций динамики курса американской национальной валюты;

– снижение зависимости развития ВАIC Group от колебаний фондового рынка КНР за счет активизации привлечения капитала на фондовых площадках других регионов мировой экономики, в т. ч. в рамках виртуального экономического пространства, на достаточно динамично развивающихся в 2015–2021 гг. биржах криптоактивов.

В целом основными особенностями предлагаемой нами многофакторной модели являются:

а) рассмотрение в единой системе координат наиболее значимых как внутренних, так и внешних финансово-экономических факторов, влияющих на процессы обеспечения конкурентоспособности современных корпоративных структур;

б) отсутствие использования для оценки факторов конкурентоспособности достаточно спорного, субъективистского инструментария экспертного оценивания, что достаточно типично для многих современных подходов к исследованию конкурентоспособности корпораций;

в) в определенной степени предлагаемая модель является расширенной модификацией классической производственной функции Кобба – Дугласа, которая имеет следующий общий вид [Лопатников, 2014]:

$$Y = a_0 * K^{a_1} * L^{a_2}, \quad (4)$$

где  $Y$  – объем выпуска продукции, работ, услуг компании;  $K$  – стоимость основного капитала;  $L$  – численность промышленно-производственного персонала компании.

Вместе с тем в системе координат предлагаемой нами экономико-статистической функции используются такие факторные переменные, как коэффициент годности и уровень средней заработной платы в компании, которые, по нашему мнению, более корректно отражают особенности использования факторов капитала и труда в компании, а также особенности влияния последних на обеспечение конкурентоспособности развития организации.

Кроме того, в состав факторных переменных модели, в отличие от классической функции Кобба – Дугласа, нами включен параметр инновационной активности деятельности корпоративной структуры, который в современных условиях динамично развивающейся постиндустриальной финансово-экономической системы оказывает значимое влияние на процессы формирования и реализации конкурентных преимуществ большинства корпоративных структур различного профиля.

Таким образом, разработанная нами экономико-статистическая модель позволяет осуществлять факторный анализ конкурентоспособности развития корпоративных структур, ранжировать выделенные внутренние и внешние факторы с точки зрения влияния на процесс

обеспечения конкурентоспособности, аргументировать организационно-экономические механизмы генерирования перспективных конкурентных преимуществ развития корпорации.

### Заключение

1. Разработана экономико-статистическая модель многофакторного анализа конкурентоспособности корпорации, которая позволяет осуществлять комплексное исследование конкурентоспособности развития корпоративных структур, ранжировать выделенные внутренние и внешние факторы с точки зрения влияния на процесс обеспечения конкурентоспособности, аргументировать организационно-экономические механизмы генерирования перспективных конкурентных преимуществ развития корпорации.

2. Разработанная модель апробирована на материалах ПАО «Камаз» (Россия), одной из крупнейших корпораций по производству грузового автотранспорта в мировой экономике и VAIC Group (КНР), одним из основных направлений производственной деятельности которой также является создание грузовых автомобилей. Наиболее приоритетными направлениями совершенствования организационно-экономического механизма управления конкурентоспособностью ПАО «Камаз», которые могут быть определены посредством апробации разработанной модели, являются: совершенствование управления корпоративными отношениями и корпоративным капиталом, возможно посредством консолидации последнего, привлечения новых крупных стратегических инвесторов и т.п.; качественное совершенствование механизмов стимулирования труда персонала ПАО, например, посредством развития КРП, опционов для менеджмента промышленной корпорации и т.п.; уменьшение зависимости конкурентоспособности развития ПАО «Камаз» от флуктуаций валютного курса рубля, в первую очередь посредством более активного использования материалов и комплектующих отечественного производства, в первую очередь производимого в рамках автомобилестроительного кластера, центром которого является ПАО «Камаз».

3. Основными направлениями совершенствования организационно-экономических механизмов обеспечения конкурентоспособности деятельности VAIC Group, которые могут быть определены на основании исследования коэффициентов эластичности построенной нами функции, являются: увеличение количества собственников корпорации, в т. ч. за счет возможной организации дополнительной эмиссии акций; совершенствование управления инновационными процессами и НИОКР корпорации; уменьшение зависимости управления конкурентоспособностью VAIC Group от флуктуаций курса юаня по отношению к доллару, в первую очередь за счет активизации проникновения на рынки сбыта продукции государств – партнеров КНР по ШОС и БРИКС; снижение зависимости развития VAIC Group от колебаний фондового рынка КНР за счет активизации привлечения капитала на фондовых площадках других регионов мировой экономики, в т. ч. в рамках виртуального экономического пространства, на достаточно динамично развивающихся биржах криптоактивов.

### Список литературы

- Адизес И. 2020. Управление жизненным циклом корпорации. М.: Академия, 380 с.
- Баумгартен Л.В. 2005. Анализ методов определения конкурентоспособности организации и продукции. Маркетинг в России и за рубежом, 4: 72–79.
- Воловиков Б.П. 2011. Оценка конкурентоспособности продукта на основе метода анализа иерархий. Индустриальный и B2B маркетинг, 4: 296–305.
- Воронов Д.С. 2001. Конкурентоспособность предприятия: оценка, анализ, пути повышения. Екатеринбург: Изд-во УГПУ – УПИ, 96 с.
- Воронов Д.С. 2016. Оценка конкурентоспособности крупнейших российских компаний по итогам 2015 года. Современная конкуренция, 10(2): 118–143.
- Емельянова Л.А. 2013. Концепция конкуренции и конкурентоспособности коллективных субъектов деятельности: социально-психологический подход. М.: Изд-во РЭУ им. Г.В. Плеханова, 343 с.
- Каплан Р., Нортон Д. 2021. Стратегические карты. М.: Олимп-бизнес, 486 с.

- Коупленд Т., Коллер Т., Муррин Дж. 2000. Стоимость компаний: оценка и управление. Пер. с англ. М.: ЗАО “Олимп – Бизнес”, 576 с.
- Криворотов В.В., Калина В.В., Матвеева Т.В., Байраншин А.Ю. 2013. Повышение конкурентоспособности современных российских территориально-производственных комплексов. Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 262 с.
- Лопатников Л.И. 2014. Экономико-математический словарь. М.: Наука, 512 с.
- Панова Т.И. 2019. Комплексный подход к диагностике финансового состояния организации. М.: LAP, 88 с.
- Портер М. 2021. Международная конкуренция. Методика анализа отраслей и конкурентов. М.: Альпина Паблицер, 482 с.
- Сафиуллин М.Р., Сабирова Д.Н. 2013. Применение рыночного (конкурентного) профиля в процессе стратегического выбора. Казань: Из-во Казан. Ун-та, 96 с.
- Тихомиров Д.В. 2009. Оценка стоимости компаний при слияниях и поглощениях. СПб.: Изд-во СПб ГУЭФ, 131 с.
- Томсон А.А., Стрикленд А.Дж. 2007. Стратегический менеджмент. Концепции и ситуации для анализа. Пер. англ. М.: Вильямс, 928 с.
- Фасхиев Х.А. 2003. Как измерить конкурентоспособность предприятия? Маркетинг в России и за рубежом, 4: 53–68.
- Фатхутдинов Р.А. 2019. Управление конкурентоспособностью организации. М.: Маркет МС, 384 с.

### References

- Adizes I. 2020. Corporation Life Cycle Management. M.: Academy, 380 p (in Russian).
- Baumgarten L.V. 2005. Analysis of methods for determining the competitiveness of an organization and products. Marketing in Russia and abroad, 4: 72–79 (in Russian).
- Volovikov B.P. 2011. Evaluation of Product Competitiveness Based on the Hierarchy Analysis Method. Industrial and B2B Marketing, 4: 296–305 (in Russian).
- Voronov D.S. 2001. Enterprise Competitiveness: Assessment, Analysis, Ways to Improve. Yekaterinburg: Publishing house - in the USPU – UPI, 96 p (in Russian).
- Voronov D.S. 2016. Assessment of the competitiveness of the largest Russian companies based on the results of 2015. Modern Competition, 10(2): 118–143 (in Russian).
- Emelyanova L.A. 2013. The concept of competition and competitiveness of collective actors: a socio-psychological approach. M.: Publishing House – in the Russian University of Economics. G.V. Plekhanov, 343 p (in Russian).
- Kaplan R., Norton D. 2021. Strategic maps. M.: Olymp-Business, 486 p (in Russian).
- Copeland T., Koller T., Murrin J. 2000. Company Value: Valuation and Management. Per. from English. M.: CJSC "Olimp-Business", 576 p (in Russian).
- Krivorotov V.V., Kalina V.V., Matveeva T.V., Bayranshin A.Yu. 2013. Increasing the competitiveness of modern Russian territorial production complexes. Yekaterinburg: Publishing House of UrFU, 262 p (in Russian).
- Lopatnikov L.I. 2014. Economic and mathematical dictionary. M.: Nauka, 512 p (in Russian).
- Panova T.I. 2019. An integrated approach to diagnosing the financial condition of an organization. M.: LAP, 88 p (in Russian).
- Porter M. 2021. International competition. Methods of analysis of industries and competitors. M.: Alpina Publisher, 482 p (in Russian).
- Safiullin M.R., Sabirova D.N. 2013. Application of a market (competitive) profile in the process of strategic choice. – Kazan: From Kazan. University, 96 p (in Russian).
- Tikhomirov D.V. 2009. Estimating the value of companies in mergers and acquisitions. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg GUEF, 131 p (in Russian).
- Thomson A.A., Strickland A.J. 2007. Strategic management. Concepts and situations for analysis. Per. with English. Moscow: Williams, 928 p (in Russian).
- Fashiev Kh. A. 2003. How to measure the competitiveness of an enterprise? Marketing in Russia and Abroad, 4: 53–68 (in Russian).
- Fatkhutdinov R.A. 2019. Organization competitiveness management. M.: Market MS, 384 p (in Russian).



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

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

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Лян Тин**, аспирант кафедры экономической теории и менеджмента, Московский педагогический государственный университет, г. Москва, Россия

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Liang Ting**, PhD student, Department of Economic Theory and Management, Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russia

УДК 338.12.017

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-529-535

## **Analysis of the Usage of Principles of Circular Economy in the Industry of Thermal Insulation Materials (Using the Example of “Rockwool Group”)**

**Irina V. Somina, Maxim V. Kondakov**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,  
46 Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russia

E-mail: irasomina@yandex.ru, kondakov\_max@mail.ru

**Abstract.** Motives of the study. The construction industry produces a third of global waste, most of which ends up in landfills. Over the period from 2000 to 2020, the volume of construction work has increased by more than 12 times. The reverse side of the process is the proportional growth of waste. An industry for recycling construction and demolition waste should be create. To speed up the work, it is important to rely on the experience of advanced companies, where the recycling industry has been operating for 20 years. The subject of the study. Lean manufacturing and closed-loop economics processes implemented in “Rockwool Group”. The results of the study and its significance. The study analyzed the company's best practices, which in case of applying by other market players will help them to join the global trend of energy efficiency and environmental care, and can improve the situation in the construction industry. Eco-friendly production is part of a new model of world development, which is based on a cyclical economy, the preservation of natural capital and the release of products that have a positive impact on society.

**Keywords:** insulation materials, ecological report, lean production, eco-friendly production, Sustainable Development Goals

**For citation:** Somina I.V., Kondakov M.V. 2022. Analysis of the Usage of Principles of Circular Economy in the Industry of Thermal Insulation Materials (Using the Example of “Rockwool Group”). Economics. Information technologies, 49(3): 529–535. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-529-535

---

## **Анализ использования принципов циркулярной экономики в индустрии теплоизоляционных материалов (на примере компании Rockwool)**

**Сомина И.В., Кондаков М.В.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

E-mail: irasomina@yandex.ru, kondakov\_max@mail.ru

**Аннотация.** Предпосылки исследования. Строительная отрасль производит треть глобальных отходов, большая часть которых попадает на свалку. За период с 2000 по 2020 год объем строительных работ вырос более чем в 12 раз. Обратной стороной процесса является пропорциональный рост отходов. В отрасли следует создать индустрию рециклинга отходов строительства и сноса. Для ускорения работы важно опираться на опыт передовых компаний, где индустрия рециклинга действует уже 20 лет. Предмет исследования. Процессы бережливого производства и экономики замкнутого цикла, внедрённые в компании Rockwool. Результаты исследования и их значение. В ходе исследования были проанализированы лучшие практики компании, которые при их применении другими игроками рынка помогут им включиться в общемировой тренд энергоэффективности и заботы о природе, а также могут улучшить ситуацию в строительной отрасли. Экологичные производства – часть новой модели развития мира, которая основана на циклической экономике, сохранении природного капитала и выпуске положительно влияющей на общество продукции.



**Ключевые слова:** теплоизоляционные материалы, экологический отчёт, бережливое производство, экологичная продукция, цели устойчивого развития

**Для цитирования:** Сомина И.В., Кондаков М.В. 2022. Анализ использования принципов циркулярной экономики в индустрии теплоизоляционных материалов (на примере компании Rockwool). Экономика. Информатика, 49(3): 529–535 (in English). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-529-535

## Introduction

Indicators of the development of the construction industry reliably show the state of affairs in the economy. Over the period from 2000 to 2020, the volume of construction work in Russia has increased by more than 12 times. Even during the crisis years, the volume of commissioning of new buildings has hardly decreased and is not going down, renovation and re-profiling projects of buildings are being implemented, public spaces are being improved, roads and railways are being built and repaired. All these processes which are necessary to create a comfortable human environment have a downside – the production of a large number of construction and demolition waste (CDW).

The issue of civilized treatment of CDW is particularly acute today. More recently, these wastes were sent for burial, but now, in the context of reducing the area of landfills and the associated acute social tension, it is time to solve the environmental problems of construction by methods adopted in developed countries of the world.

According to statistics, construction waste accounts for almost a third of all waste generated in developed economies. With the development of separate collection programs, construction debris occupies an increasing part of the total waste structure. In Germany and the Netherlands in 2020, the share of construction debris was 55 %, in France – 70 %, in Luxembourg it reached 90 %. Back in 2008, a framework directive was adopted in the EU, according to which the main way to combat the increase in the volume of CDW should be the processing of these wastes for further use. The share of CDW recycling that Europeans want to achieve by 2025 is at least 70%. And although this figure may not be achieved in a number of countries, up to 90 % of construction waste is already being processed in some European countries. The leaders in this are the members of the so-called Landfill ban – a ban on dumping waste into the ground, adopted in 1996 – Denmark, the Netherlands, Sweden and Germany [Pakhomova, 2017].

Experts say that a new industry is already functioning in Europe – the recycling industry. It took about 20 years to create it, and this work is complex. The ban on dumping waste into the ground does not exist in the form of a separate legislative norm – it is a whole system that includes strict control over attempts to create unauthorized landfills, a complete ban on the export of CDW to landfills, or prohibitively high prices for such disposal of construction debris. In parallel, the law prescribes, and the developed system of various benefits and preferences encourages the separation of construction waste into fractions and their maximum deep processing. In the USA and Canada, the cost of waste disposal also dramatically exceeds the cost of recycling, so a business that knows how to count money makes a choice in favor of environmentally friendly solutions [Kurilova-Palisaitiene, 2017].

According to environmentalists, in 2020, only 5–10 % of construction waste was recycled in Russia, and most of this volume is scrap reinforced concrete and bricks, the recycling of which does not require complex production processes.

## Results and discussion

Circular economy is a system built on three principles: minimization of waste and absence of negative impact on the environment, maximum use of manufactured products, reproduction of natural resources. This is especially true for the construction industry, which consumes almost half

of all resources extracted every year and produces a third of global waste, most of which ends up in landfill.

It is necessary to create an CDW recycling processes in the industry as soon as possible. It is advisable to draw on the experience of leading companies in this area.

An example is the Rockwool Group – an international group of companies, a manufacturer of solutions based on stone wool. The products are used for insulation, sound insulation and fire protection and are intended for all types of buildings and structures, as well as for shipbuilding and industrial equipment.

The Danish company “Rockwool” has 4 plants in Russia: LLC “Rockwool” (Moscow region), LLC “Rockwool-Sever” (Leningrad region), LLC “Rockwool-Ural” (Chelyabinsk region), LLC “Rockwool –Volga” (Republic of Tatarstan).

The construction industry accounts for up to a third of global waste. Most of them end up in landfill, harming the environment. Rockwool company, as one of the largest manufacturers of stone wool insulation in Russia, contributes to solving the problem of recycling construction waste.

The company began to introduce lean technologies at its plants located in the territory of the Russian Federation. Her experience, scalable to other enterprises in the construction industry, can have a positive effect on the issue of waste recycling [Narusawa, 2019].

Rockwool's environmental standards are uniform at more than 50 production sites worldwide. In 2019, the 20th anniversary of the production of natural stone in Russia was celebrated. The most important thing is that in addition to the development of the enterprise, great attention is paid to social projects. And the company's approaches to the ecology of our planet, including our country, are the most advanced, and today this is especially valuable.

In 2016, the company committed itself to fulfilling 10 of the 17 UN Sustainable Development Goals. Stone wool initially allows you to save the resources of the planet: due to high-quality insulation, buildings consume less energy for heating and air conditioning. The less energy humanity consumes, the smaller the carbon footprint left and the negative impact on nature.

Rockwool believes that a modern company, no matter how energy-intensive it may be, should strive for decarbonization and negative carbon emissions. Therefore, in 2020, Rockwool joined the SBTi Science Goals initiative and approved an ambitious plan to reduce greenhouse gas emissions during the product lifecycle.

Rockwool has the status of a company with negative carbon emissions, since the products sold annually during their operation will prevent 100 times more carbon emissions than were generated during its production.

All Rockwool products are classified by global climate risk analysis data provider Trucost as having a positive impact on achieving the SDGs. Out of 15,000 assessed businesses, Rockwool is among the top ten leaders in reducing carbon emissions and preserving the environment [Korhonen, 2018].

The principles of the closed-loop economy are similar to Rockwool and fully echo the set goals of sustainable development. At the end of 2020, Rockwool announced ambitious, science-based global decarbonization goals, which were tested and approved as part of the Science Based Targets (SBTi) initiative. This is a joint initiative of the Carbon Disclosure Project, WWF, the UN Global Compact and the World Resources Institute (WRI). Key elements of the decarbonization plan include:

- reduction of absolute greenhouse gas emissions at enterprises by 38 % by 2034 (compared to the base year 2019);
- reduction of non-production greenhouse gas emissions in absolute terms over the entire product life cycle by 20 % by 2034 (compared to the base year 2019).

In total, Rockwool plans to reduce CO<sub>2</sub> emissions by a third by 2034 at all stages of the life cycle of rock wool: from extraction of raw materials and production to processing and disposal. The company is going to continue to reduce the carbon intensity of production (carbon emissions per ton of output).





Another evidence that circular economy and lean manufacturing are a priority for Rockwool is joining the Ellen MacArthur Foundation in 2019.

The Ellen MacArthur Foundation (EMF) is an international leader in the field of analytics, whose activities are aimed at actively supporting the transition to a closed-loop economy. UPM Raflatac participates in the initiative program of the New Economy of Plastics, led by the Foundation [Jones, 2020].

The Ellen MacArthur Foundation is an international non-profit organization founded in 2010 to accelerate the transition to a closed-loop economy. Since its inception, the organization has grown into a global opinion leader, putting the closed-loop economy on the agenda for decision makers in business, government and academia.

In order to make the transition to a closed-loop economy, it is necessary to involve all parts of the system. Therefore, the Foundation works with enterprises, international organizations, governments, cities, universities, non-governmental organizations, innovators and many other categories of stakeholders. The Foundation creates resources and tools to help stakeholders establish effective policies, find new ways of doing business and develop better products [Geissdoerfer, 2017].

As part of the CE100 project, Rockwool has much more opportunities for close cooperation with other companies seeking a closed production cycle in their fields. Rockwool's stone wool products are durable and recyclable, so they already have cyclic properties. It will be very valuable to work closely with other companies, partners and regulatory authorities to improve, for example, waste management methods and optimize recycling and reuse schemes of materials.

The closed-loop economy program assumes expanded responsibility of the manufacturer for packaging.

Today, the construction industry needs to organize a closed production cycle, within which packaging is never sent to waste and does not harm the environment. Packaging that cannot be discarded and cannot be reused should remain within the closed-loop economy and should not be released into the environment. Rockwool, together with more than 150 leading companies and organizations, joined the initiative of the Ellen MacArthur Foundation to introduce Extended Manufacturer Responsibility (EPR) for packaging [Doroshenko, 2017].

Stone wool can withstand an unlimited number of recycling cycles

Rockwool is the first thermal insulation to receive the EcoMaterial Green mark. He confirms that the material is safe for use in all types of buildings and for interior decoration, including bedrooms and children's rooms.

In 2016, all four plants in Russia were awarded one of the highest environmental safety marks – EcoMaterial Absolute.

In 2017, the Russian division of the Rockwool Group received an Environmental Product Declaration (EPD). The use of such products in construction makes it possible to increase the rating of environmental friendliness of buildings according to the international assessment systems LEED and BREEAM. The presence of a declaration is necessary if the materials are used in houses that are built according to «green» standards.

Thermal insulation plays a huge role in solving the issue of energy conservation and conservation of natural resources. After all, well-insulated houses require less energy consumption for heating and air conditioning, which means they reduce human influence on nature.

The company is constantly improving the technological process of manufacturing stone wool to minimize the impact of enterprises on the environment. All plants have a closed cycle: cotton wool trimmings are returned back to production to make it as lean as possible. In addition, Rockwool insulation is one of the few industrial products with a positive energy balance. This means that the amount of energy that their solutions save is many times higher than that used for their production [Gallaud, 2016].

Recycling of thermal insulation from construction sites is a new step in the development of the brand's environmental initiatives. Even now, including at Russian factories, technological waste and by-products are being returned back to production.

In general, Rockwool processes its products in 10 countries around the world, including Russia. In 2019, the company processed 160,000 tons of rock wool, and this figure will only grow, as the brand plans to introduce recycling services in 30 countries by 2030.

Since July 2020, the company's plant in Vyborg has been accepting for processing scraps of facade and roof insulation boards formed during installation, as well as materials that have already served. The project was called “Second life”, and it really fully reveals the cyclic properties of stone wool: the material can be recycled without loss of quality an infinite number of times.

Now manufacturers of installation and repair work do not need to dispose of construction residues, you can bring materials to the manufacturer's factory – it is convenient and cost-effective. For the company, the processing of thermal insulation from stone wool is a serious contribution to improving the environmental situation. Waste intended for landfill disposal is turning into a promising source of raw materials. The service life of stone wool is at least 50 years, but with the introduction of processing technology tends to infinity.

The list of the company's achievements in the field of sustainable development for 2018 includes the following facts:

200 million tons of CO<sub>2</sub> emissions during its operation will be avoided by thermal insulation produced and installed in 2018 (Sustainable Development Goal (SDG) 13 – combating climate change).

The company's work on this aspect began in 2017. The results are shown in figure 1 [Kopnina, 2021].

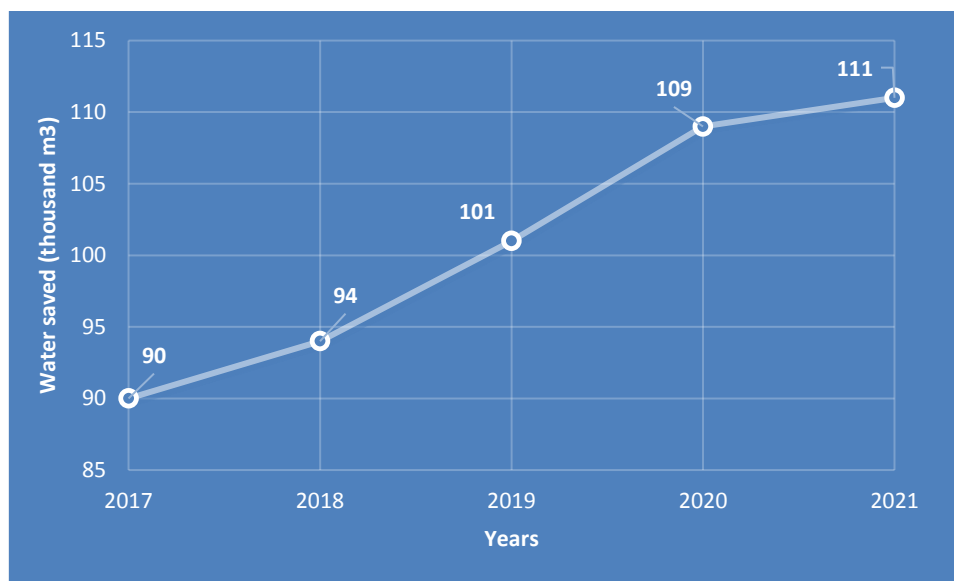


Fig. 1. Enabling more carbon-efficient buildings and industry. Carbon emissions avoided (Mt CO<sub>2</sub>) in the lifetime of building insulation sold

94 million liters of water are saved by greenhouse products sold in 2018 (SDG 6 – clean water and sanitation);

It is important to note that Rockwool started working in this direction in 2017 and continues today. We present the results in figure 2 [Ghosh, 2021].

In 2019, the GREEN BOOK catalog for the fifth time confirmed the chemical and radiological safety for human health of Rockwool materials made of non-combustible natural stone. The purpose of the project is to inform the public about the environmental aspects of building materials presented on the Russian market. The company is the first and permanent participant of the «green» catalog.

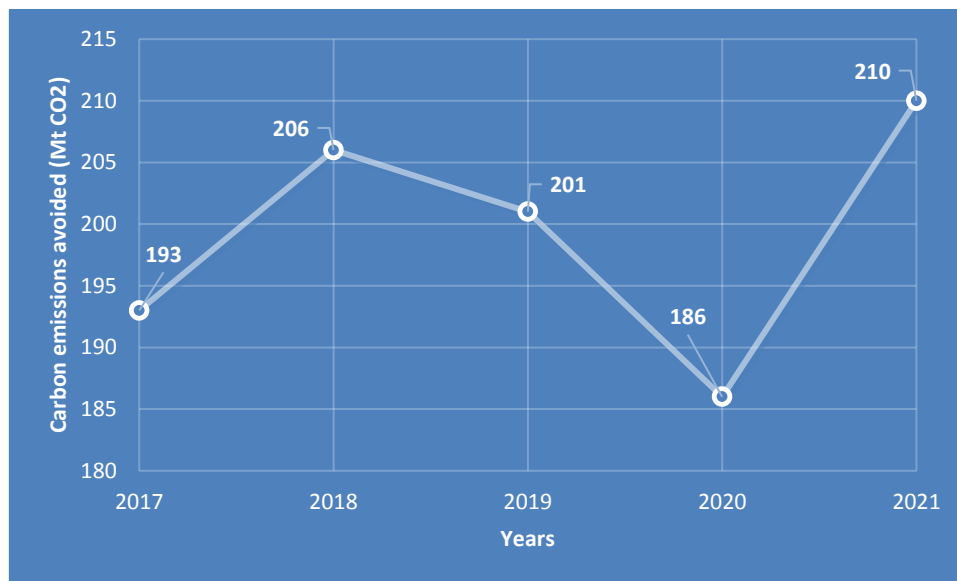


Fig. 2. Enhancing water efficiency in horticulture. Water saved (thousand m<sup>3</sup>) by precision growing products sold compared to soil-based solutions

Rockwool products comply with the Eco Material Absolute environmental safety standard and have an EPD environmental declaration, increases the rating of buildings certified according to LEED and BREEAM standards [Tukker, 2015].

In 2020, for the second time, all Rockwool products were classified by Trucost, a global data provider for climate risk analysis, as having a positive impact on achieving the SDGs.

Rockwool has achieved two of its six interim sustainability goals two years ahead of schedule. This is a 50 % reduction in industrial waste sent to landfill, and an increase in the efficiency of water use at the brand's plants by 10 %.

In 2021, Rockwool switched three production lines to low-carbon melting technologies and fuel sources, and also announced plans to create additional low-carbon capacities. The effect of these and other emissions reduction investments will manifest itself in the coming years, helping the company achieve decarbonization goals.

## Conclusion

All companies are in need of being actively involved in the global trend of energy efficiency and caring for nature. At its own level, almost every company can do this.

A responsible and efficient business today is unthinkable without a sustainable development program covering all stages of the product life cycle, its production conditions, the comfort of employees and care for the environment [Kumar, 2016].

The construction of a healthy, dynamically developing economy should be associated with high social and environmental responsibility of all professionals involved in this process. And in order for plans and intentions to be filled with real meaning, they must be based on sound calculation and clear procedures.

Eco-friendly production is part of a new model of world development, which is based on a cyclical economy, the preservation of natural capital and the release of products that have a positive impact on society. Rockwool believes that by joining forces with other market participants, it will be possible to build a sustainable future for the next generations.

## Sources

Gallaud D., Laperche B. 2016. Circular Economy, Industrial Ecology and Short Supply Chain (London: Wiley-ISTE).

Ghosh S. K., Mohapatra B. G., Mersky R. L. 2021. *Circular Economy in the Construction Industry*, Florida: CRC Press.

Jones D., Womack J. 2020. *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*, Washington D.C.: Free Press.

Kopnina H., Poldner K. 2021. *Circular Economy: Challenges and Opportunities for Ethical and Sustainable Business*, London: Routledge.

Narusawa T., Shook J. 2019. *Kaizen express: fundamentals for your lean journey*, Boston: Lean Enterprise Institute, Inc.

## References

Doroshenko Yu. A., Klimashevskaya A. A. 2017. Analysis of the scientific and technical potential of enterprises of the building materials industry in the context of assessing the need for technological modernization in the industry. *The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 1: 214–219.

Geissdoerfer M. 2017. The Circular Economy – a new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143: 757–768.

Korhonen J. 2018. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143: 37–46.

Kumar S. 2016. Millennium Development Goals (MDGs) to Sustainable Development Goals (SDGs): Addressing Unfinished Agenda and Strengthening Sustainable Development and Partnership. *Indian Journal of Community Medicine*, 41(1): 1–4.

Kurilova-Palisaitiene J. 2017. Remanufacturing Challenges and possible lean improvement. *Journal of Cleaner Production*, 30: 1–12.

Pakhomova, N. V. 2017. Circular Economy as Challenge to the Fourth Industrial Revolution. *Innovations*, 7 (225): 66–70.

Tukker A. 2015. Product services for a resource-efficient and circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 97: 76–91.

**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

**Сомина Ирина Владимировна**, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры стратегического управления, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

**Кондаков Максим Викторович**, магистрант кафедры стратегического управления, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Irina V. Somina**, Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department of Strategic Management, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

**Maxim V. Kondakov**, Master's student of the Department of Strategic Management, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia



# ФИНАНСЫ ГОСУДАРСТВА И ПРЕДПРИЯТИЙ PUBLIC AND BUSINESS FINANCE

УДК 336.74

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-536-545

## Исследование и анализ цифровых валют центральных банков (CBDC)

**Ваганова О.В., Сидибе Махамату, Прядко Е.А.**

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

E-mail: vaganova@bsu.edu.ru, sidibemahamadou@windowslive.com, pryadko@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Современная мировая экономика развивается в условиях цифровизации, поэтому феномен цифровых валют центральных банков приобретает все более актуально-значимую роль. Центральные банки различных стран мира стали системно работать над выпуском виртуальных национальных денег, т. к. убедились в успехе внедрения криптовалют в мировую экономику. Активизация банков в этом направлении началась примерно с 2018 года после введения централизованных цифровых валют в прогресс реализации глобальных проектов. Авторы статьи исследуют основные модели цифровых валют центральных банков, разделяют эти валюты на розничные и оптовые, приводят аргументированные выводы о возможных последствиях введения цифровых валют для экономических, финансовых и платежных систем.

**Ключевые слова:** фиатные деньги, цифровые валюты центральных банков, централизованные цифровые валюты, частные цифровые валюты, криптовалюты

**Для цитирования:** Ваганова О.В., Сидибе Махамату, Прядко Е.А. 2022. Исследование и анализ цифровых валют центральных банков (CBDC). Экономика. Информатика, 49(3): 536–545. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-536-545

## Research and Analysis of Digital Currencies of the Central Banks (CBDC)

**Oksana V. Vaganova, Sidibe Mahamadou, Eugenia A. Pryadko**

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

E-mail: vaganova@bsu.edu.ru, sidibemahamadou@windowslive.com, pryadko@bsu.edu.ru

**Abstract.** The modern world economy is developing in the context of digitalization, so the phenomenon of digital currencies of central banks is acquiring an increasingly relevant and significant role. The central banks of various countries of the world began to systematically work on the issuance of virtual national money, because. convinced of the success of the introduction of cryptocurrencies into the global economy. The activation of banks in this direction began around 2018 after the introduction of centralized digital currencies in the progress of the implementation of global projects. The authors of this article explore the main models of digital currencies of central banks, divide these currencies into retail and wholesale ones, draw reasoned conclusions about the possible consequences of the introduction of digital currencies for economic, financial and payment systems.

**Keywords:** fiat money, central bank digital currencies, centralized digital currencies, private digital currencies, cryptocurrencies

**For citation:** Vaganova O.V., Sidibe Mahamadu, Pryadko E.A. 2022. Research and Analysis of Digital Currencies of the Central Banks (CBDC). Economics. Information technologies, 49(3): 536–545 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-536-545

## Введение

В последние два десятилетия мировая экономика развивается в условиях цифровизации, одним из проявлений которой стало распространение частных цифровых валют на основе технологий распределенного реестра, а в частности – криптовалют.

Несмотря на то, что до настоящего времени частные цифровые валюты не оказывали серьезной конкуренции централизованным фиатным валютам, эмитируемым национальными банковскими системами, в будущем ситуация может измениться.

В пользу такого предположения говорят темпы цифровизации и тот факт, что уже в настоящее время крупнейшие глобальные компании, число клиентов которых измеряется миллионами и миллиардами человек, создают собственные экосистемы и цифровые платформы, обладающие, как правило, платежными сервисами на основе собственных частных цифровых валют.

Учитывая особенности технологии распределенного реестра, государства в настоящее время весьма ограничены в возможности регулирования выпуска и обращения частных цифровых валют.

Поэтому в последние годы большинство центральных банков в мире работают над проектами по внедрению собственных цифровых валют на основе той же технологии распределенного реестра, которая используется при выпуске частных цифровых валют.

Цифровые валюты центральных банков или централизованные цифровые валюты представляют собой новый феномен в сфере денежного обращения. Сокращено этот феномен обозначается CBDC, что является аббревиатурой английских слов – central bank digital currency. Сегодня можно констатировать факт, что такие валюты пока не существуют, несмотря на то, что большинство центральных банков в той или иной мере разрабатывают проекты по внедрению своих национальных валют в цифровом формате.

В последние три года опубликовано достаточно много научных и аналитических работ по вопросам, связанным с цифровыми валютами центральных банков. В частности, можно отметить публикации Банка международных расчетов и Международного валютного фонда по различным аспектам обращения централизованных цифровых валют на английском языке [Central bank digital currencies for cross-border payments, 2021; Central bank digital currencies, 2021; Kosse, Mattei, 2022; PwC CBDC global index, 2022]. В русскоязычной научной литературе акцент делается на вопросы будущего обращения цифрового рубля, хотя существуют и публикации, посвященные цифровым валютам центральных банков в целом [Vaganova, Быканова, Гордя, Голубоцких, 2022; Vaganova, Выканова, Gordya, Evdokimov, 2021; Vaganova, Выканова, Mityushina, Mohanad, Salim, 2019; Раздорожный, 2018; Кочергин, 2021; Криптовалюты: тренды, риски, меры, 2022].

Однако в этих публикациях рассматриваются отдельные вопросы будущего обращения централизованных цифровых валют. Авторы данной статьи сделали попытку провести системный анализ феномена цифровых валют центрального банка с оценкой основных причин их появления и возможных последствий для экономических и финансовых систем.

## Основные предпосылки возникновения централизованных цифровых валют

Начиная с 1970-х гг. денежное обращение на национальном и глобальном уровне обслуживается фиатными валютами, которые не имеют внутренней стоимости и эмитируются централизованными банковскими системами. Централизованные фиатные валюты полностью выполняют все известные функции денег, причем их использование в качестве средства платежа гарантируется государством. Процесс эмиссии и обращения таких централизован-

ных валют полностью контролируется центральными банками, которые используют регулирование денежной эмиссии в качестве механизма целенаправленного и систематического воздействия на экономику в рамках проведения денежно-кредитной политики.

Примерно с начала 1990-х гг. в мире стали появляться электронные платёжные системы, которые вышли за пределы деятельности банковских систем. Однако до 2010 года это были электронные титульные знаки стоимости или, как их принято называть, частные электронные деньги, создаваемые организациями, операции которых при необходимости полностью отслеживались и контролировались государством посредством предъявления к организациям-эмитентам регулирующих требований [Vaganova, Bykanova, Gordya, Evdokimov, 2021; Криптовалюты: тренды, риски, меры, 2022].

С начала 2010-х гг. ситуация изменилась. На финансовый рынок вышли криптовалюты и другие децентрализованные денежные единицы, что нарушило принцип централизованного выпуска банкнот банковской системы. Цифровые валюты были созданы на основе использования новой технологии распределённого реестра. Первой из таких частных цифровых валют был биткойн. Сегодня общее количество таких валют насчитывает около 8 тыс. единиц. Но при этом на биткойн приходится более 60 % совокупной капитализации рынка цифровых валют и 9 альткойнов, т. е. других, отличных от биткойна частных цифровых валют [Раздорожный, 2018] (рис. 1).

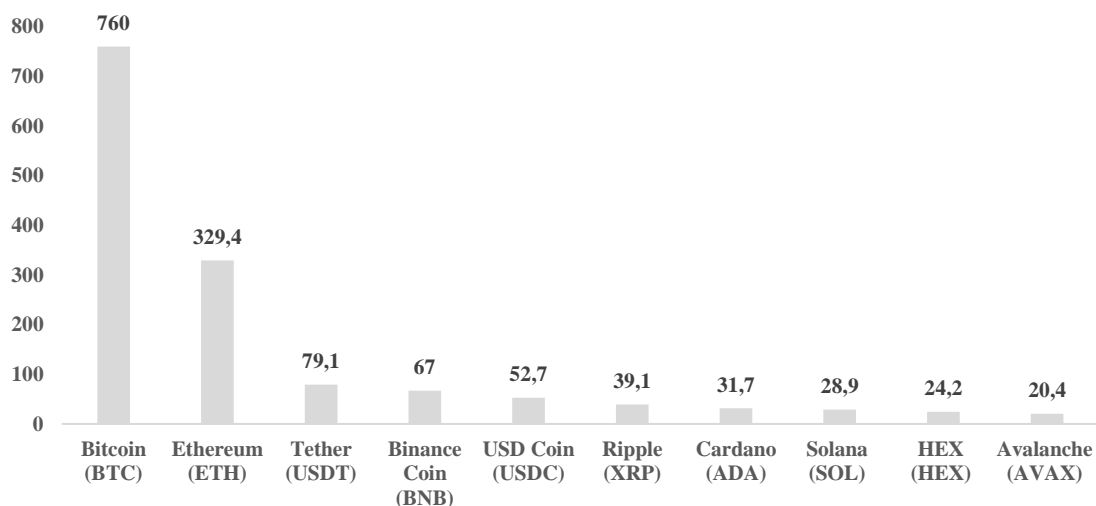


Рис. 1. Рыночная капитализация десяти крупнейших по данному показателю частных цифровых валют по состоянию на 1.01.2022, в млрд долларов США

Fig. 1. Market capitalization of the ten largest private digital currencies by this indicator as of 1.01.2022, in billions of US dollars

Несмотря на то, что совокупная капитализация рынка частных цифровых валют достигла достаточно серьезных значений – 2,3 трлн долларов США, по оценкам Банка России на начало 2022 года [Ваганова, Быканова, Гордя, Голубоцких, 2022], эти валюты не составляют серьезной конкуренции централизованным фиатным валютам.

С одной стороны, совокупная капитализация рынка частных цифровых валют в 2,3 трлн долларов США на начало 2022 года составляет менее 2 % от совокупного объема централизованных фиатных валют в обращении в мировой экономике [WDI World Bank].

С другой стороны, частные криптовалюты ограничены в выполнении существующих функций денег. Они достаточно успешно выполняют функцию расчетов, обладая такими преимуществами, как высокая скорость совершения операции и достаточно высокая надежность. Встает вопрос, почему криптовалюты не могут выполнять функции средств платежа? Ответ на этот вопрос прост, законодательство большинства стран запрещает проводить расчёты посред-

ством частных цифровых валют, поэтому функцию накопления стоимости эти валюты выполняют ограниченно. А вот в силу высокой рыночной волатильности курсов частные криптовалюты привлекательны для многих объектов финансовых инвестиций, т. к. являются отличным средством извлечения прибыли от колебания курсовой стоимости [Vaganova, Vykanova, Mityushina, Mohanad, Salim, 2019; WDI World Bank].

Цифровизация стала объективным условием развития мировой экономики, транснациональные компании переводят крупнейшие операции в цифровую сферу, при этом создавая свои собственные, в частности цифровые платформы и экосистемы. Каждая цифровая платформа или экосистема обладает, как правило, собственным и независимым от банковских систем платежным сервисом с использованием частных цифровых валют. Для нейтрализации проблемы волатильности курсов таких валют, а также для реализации функции сбережения стали разрабатываться и внедряться стейблкоины, что представляет собой один из видов частных цифровых валют, чьи курсы привязываются к курсам официальных валют или к другим экономическим показателям.

Мы уже сказали, что эмиссия частных валют полностью децентрализована, поэтому контроль за обращением таких валют со стороны государства весьма ограничен. Это вызвано тем, что эмитентом может выступать любое юридическое или физическое лицо без каких-либо регистрационных обязательств, на основании которых можно предъявлять регулятивные требования.

Если предположить, что частные цифровые валюты распространятся гораздо шире, чем в настоящее время, и перестанут быть в основном объектом спекулятивной деятельности, то их использование будет размывать спрос на официальные фиатные валюты, что в свою очередь, подорвет способность государства к проведению денежно-кредитной политики и нарушит механизм государственного экономического регулирования.

Ещё одной немаловажной угрозой для любого государства является стремительное развитие финтеха, в том числе с использованием частных цифровых валют, который выступает важным конкурентом банкам и меняет архитектуру финансовой системы.

Перечисленные обстоятельства заставляют центральные банки активизировать проработку вопросов внедрения собственных цифровых валют на основе технологий распределенного реестра. Одним из первых на эту угрозу отреагировал Китай, который уже в 2014 году стал разрабатывать отдельные проекты по внедрению собственных цифровых валют [The Rise of Public and Private Digital Money, 2021].

В 2018 году по итогам заседания стран G20 была сформулирована точка зрения по поводу восприятия центральными банками частных криптовалют и развития международной платёжной системы.

### **Основные модели и процесс реализации проектов по выпуску централизованных цифровых валют**

В научных и аналитических публикациях чаще всего рассматривается феномен цифровых валют центральных банков вообще, без выделения разновидностей таких валют. Однако фактически центральные банки планируют внедрение централизованных цифровых валют двух видов – розничных и оптовых, это разделение лежит в основе классификации основных моделей выпуска и обращения цифровых валют центральных банков [Кочергин, 2021; Central bank digital currencies, 2021] (рис. 2).

Оптовые цифровые валюты предназначены в основном для межбанковских расчетов, в том числе – трансграничных, как аналог современных RTGS, то есть крупных и срочных платежей в реальном режиме времени. Розничные – по своему функционалу могут полностью замещать современные безналичные фиатные и наличные деньги.

Классификация розничных цифровых валют центральных банков в основном касается схемы участия банков в процессе их эмиссии и обращения.



Одноуровневая модель розничных цифровых валют на рисунке предполагает, что их выпуск и обращение осуществляется полностью центральным банком, который на собственной цифровой платежной платформе открывает специальные цифровые счета конечным пользователям – гражданам и организациям, в число которых попадают и банки, утратившие в этой модели свои посреднические функции в системе цифрового денежного обращения.

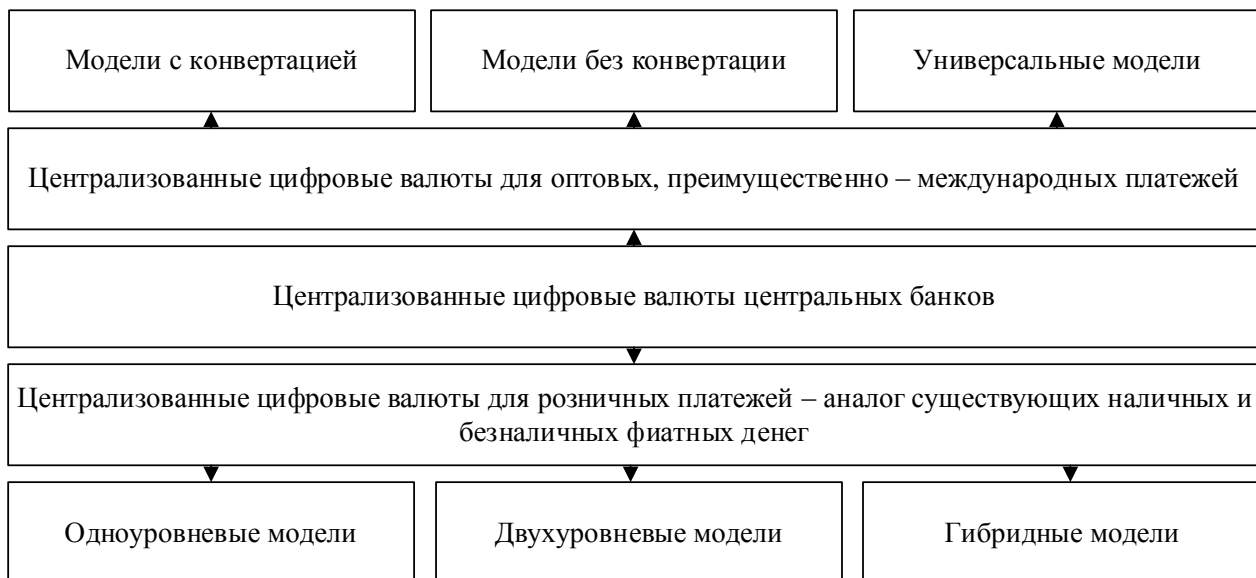


Рис. 2. Базовые модели цифровых валют центральных банков  
Fig. 2. Basic models of digital currencies of central banks

В силу того, что одноуровневая модель кардинально меняет архитектуру современных финансовых систем, особенно в случае, если централизованные цифровые валюты полностью заменяют фиатные безналичные и наличные деньги, большинство центральных банков вынуждены рассматривать в своих стратегических планах двухуровневые или гибридные модели. Эти модели по своей сути построены на тех же принципах эмиссии, что и эмиссия современных наличных денег, т. е. банки забирают наличность из хранилищ центрального банка в обмен на списание эквивалента в безналичной форме с их корсчетов, открытых в центральном банке.

Аналогичным образом функционирует двухуровневая модель, когда банки меняют безналичные фиатные деньги на своих счетах на цифровые в центральном банке, осуществляя затем операции с организациями и населением таким же образом. Отличие этих двух систем состоит в том, что обращение цифровых валют требует валидации прав владельцев этих валют, при этом в двухуровневой модели она осуществляется центральным банком, в гибридной модели делегируется банкам или другим специализированным организациям.

Ключевым классификационным признаком исследуемых моделей выступает возможность конвертации национальных цифровых валют в другие цифровые и нецифровые валюты, что в будущем расширяет возможности интеграции национальных цифровых платежных систем в региональных и глобальных масштабах.

Возможности, предоставляемые развитием моделей цифровых валют центральных банков, предопределяют вероятность перехода от единой глобальной финансовой системы, которая опосредуется в основном долларом США, к нескольким мировым валютным зонам с введением макрорегиональных валют. В этом случае цифровая валюта страны-лидера или определенной зоны может использоваться другими странами-участницами, давая возможность конвертации цифровой валюты в другие цифровые валюты. Такая интеграция играет

существенную роль в построении эффективных взаимовыгодных экономико-политических отношений между разными макрорегионами.

Процесс внедрения оптовых и розничных централизованных цифровых валют можно представить графически на основании публикуемого компанией PwC «Global CBDC Index» с апреля 2021 года [PwC CBDC global index April 2022] (рис. 3).

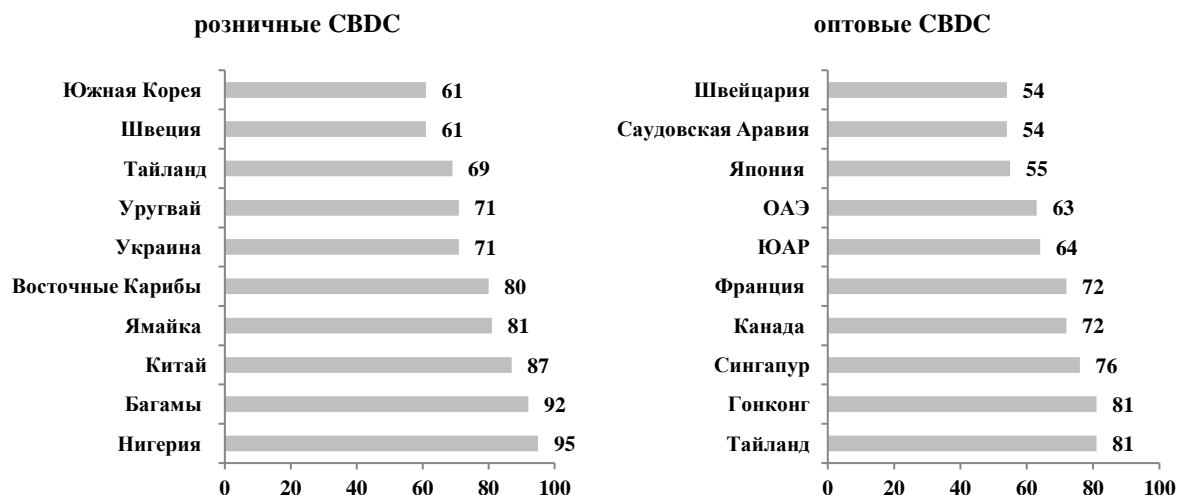


Рис. 3. Топ-10 стран, лидирующих в реализации проектов по введению национальных розничных и оптовых цифровых валют, в %

Fig. 3. Top-10 countries leading in the implementation of projects on the introduction of national retail and wholesale digital currencies, in %

Несмотря на то, что большинство центральных банков в той или иной степени занимаются изучением вопросов перехода к цифровым валютам, число проектов, которые близки к стадии фактического полноценного введения таких валют в оборот, относительно невелико.

Как видно из данных PwC, представленных на рисунке 3, в реализации проектов по введению розничных централизованных валют в наибольшей степени продвинулись, с одной стороны, небольшие с экономической точки зрения страны: Нигерия и Багамы, с другой – Китай, экономика которого по вкладу в глобальный ВВП занимает лидирующие позиции в мире. Начиная с 2021 года, все три страны осуществляют пробное тестирование обращения собственных розничных цифровых валют, что представляет собой последнюю фазу перед полноценным запуском проекта по введению собственной цифровой валюты. По оценкам PwC со ссылкой на Банк международных расчетов, кроме этих трех стран, еще 28 находятся на стадии реализации пилотных проектов.

Если говорить о введении оптовых цифровых валют в мире, то можно констатировать, что лидируют Таиланд, Гонконг и Сингапур, которые планируют запустить пилотные проекты в 2023 году. В целом, как показывают данные рисунка 3, розничные криптовалюты планируют вводить в основном небольшие развивающиеся страны, исключение составляет Китай. Оптовые цифровые валюты вводят более крупные европейские или азиатские государства. США, которые обладают второй после Китая крупнейшей экономикой в мире, только в апреле 2022 года сделали заявление о планах по введению собственной цифровой валюты.

В целом, по оценкам Банка международных расчетов, по состоянию на конец 2021 года 86 % от общего количества всех центральных банков в мире занимались проработкой вопросов, связанных с внедрением собственных цифровых валют, из которых 60 % находятся на стадии экспериментов разработки технологических платформ, позволяющих обеспечивать выпуск и обращение цифровых национальных валют. И только примерно 14 % центральных банков подошли вплотную к реализации пилотных проектов и изучению практических проблем выпуска и обращения цифровых национальных валют [Koss, Matte, 2022].

## Возможные последствия введения централизованных цифровых валют

Как показывает исследование, фактически в мире пока не существует ни одной цифровой национальной валюты. Поэтому оценивать механизмы влияния будущих цифровых валют на национальные экономические, финансовые и платёжные системы достаточно сложно.

Помимо этого, сложность заключается ещё в том, что последствия введения централизованной цифровой валюты в той или иной стране существенным образом зависят от выбора модели этой валюты. Пока неясно, будут ли розничные цифровые валюты полностью замещать современные безналичные и наличные фиатные валюты, находящиеся в обращении, или будет существовать их параллельное обращение и взаимная конвертация, во всяком случае, в рамках какого-то переходного периода. Более того, последствия будут напрямую зависеть от того, станет ли начисляться процент по финансовым активам и обязательствам в таких цифровых валютах [Central bank digital currencies for cross-border payments, 2021; Central bank digital currencies, 2021; The Rise of Public and Private Digital Money, 2021].

Все эти вопросы относятся в настоящее время к числу дискуссионных и ответы на них каждая страна, вводящая цифровую валюту, будет искать самостоятельно, применительно к собственным условиям. Тем не менее некоторые общие последствия можно выделить уже сейчас.

1. Прежде всего, централизованные цифровые валюты, обладая всеми техническими преимуществами частных цифровых валют, смогут существенно ограничить сферу их применения. В Китае, например, при проработке вопросов, касающихся создания технологической платформы DCEP, которая обеспечивает выпуск и обращение цифрового юаня, предусмотрена интеграция этой платформы с цифровыми платформами крупнейших компаний, использующих в настоящее время собственные платёжные сервисы на основании частных цифровых валют [PwC CBDC global index April 2022].

2. Если оценивать перспективы частных цифровых валют с позиций современной ситуации, можно предположить, что с появлением централизованных цифровых валют они в основном будут востребованы как финансовый актив, а также как инструмент обслуживания теневого сектора.

3. Распространение цифровых валют центральных банков позволит повысить и эффективность государственной налогово-бюджетной, а также денежно-кредитной политики. Связано это с тем, что государство как эмитент цифровой валюты сможет контролировать её обращение на любой стадии. Это снимает с повестки дня вопросы об уклонении от налогов, по крайней мере применительно к официальному, а не теневому сектору экономики. Вопросы контроля целевого использования бюджетных средств будут снижать свою актуальность, а проблемы кредитования приоритетных отраслей экономики будут решаться намного быстрее и прозрачнее.

4. Весьма значительным образом использование централизованных цифровых валют может повысить и эффективность функционирования национальных платёжных систем, с точки зрения скорости осуществления и надёжности транзакций, бесперебойности работы платёжной системы и управления операционными рисками. Помимо прочего, как отмечалось, в перспективе появляется возможность сопряжения национальных цифровых платёжных систем в макрорегиональные, а макрорегиональные в международные с сохранением всех технических преимуществ, которые даёт технология распределённого реестра.

Последствия появления цифровых валют центральных банков для финансовой стабильности напрямую зависят от степени участия банков в их эмиссии и обращении, от того, планируется ли существование процента по активам в новых цифровых валютах и от того, заместят ли эти валюты существующие официальные фиатные и частные цифровые валюты. Последствия для экономик различных стран, вводящих цифровые валюты, также зависят от перечисленных обстоятельств. Сами по себе централизованные цифровые валюты социально-экономических проблем не решают, однако могут значительно расширить возможности государства в данной сфере.

## Заключение

Основным результатом настоящей статьи, по мнению её авторов, следует считать систематизацию предпосылок появления основных моделей, а также возможных последствий возникновения цифровых валют центральных банков. Эта систематизация может использоваться для дальнейших углубленных прикладных исследований по данной теме.

Так, в частности, в статье систематизированы предпосылки появления централизованных цифровых валют, к которым отнесены все более широкое распространение частных децентрализованных цифровых валют, влияющие на возможности регулирующего воздействия со стороны государств на экономику через денежно-кредитную сферу и невозможность осуществления государственного контроля за процессом эмиссии и обращения частных цифровых валют. Как следствие государства пошли по пути создания собственных цифровых валют, которые, в отличие от частных цифровых валют, могут выполнять все существующие функции денег и, как предполагается, станут вытеснять эти частные валюты в сферу финансовой торговли.

Рассмотрены основные модели эмиссии и обращения цифровых валют центральных банков с разделением последних на розничные, потенциально замещающие современные наличные и безналичные фиатные деньги и оптовые, применяемые для межбанковских расчетов, в том числе в рамках трансграничных операций. В свою очередь, применительно к каждой из двух групп централизованных цифровых валют существует три основных модели их выпуска и обращения, отличающихся для розничных цифровых валют степенью участия в этом процессе банков, а для оптовых – возможностью конвертации в другие цифровые и нецифровые валюты.

Дана оценка процесса реализации проектов по введению централизованных цифровых валют с использованием данных Банка международных расчетов и индекса компании PwC. В частности, показано, что на стадии завершения проектов находятся в настоящее время Китай, Нигерия и Багамы, планирующие в ближайшее время ввести розничные цифровые валюты, а в целом отмечено, что примерно 14 % центральных банков в мире фактически начали или вплотную подошли к этапу реализации пилотных выпусков розничных или оптовых цифровых валют.

Показано также, что оценки последствий введения цифровых валют для национальных экономических, платежных, а также финансовых систем до фактического появления этих цифровых валют носят умозрительный характер. Более того, такие последствия напрямую зависят от выбора модели цифровой валюты, от того, будут ли эти валюты полностью замещать существующие формы фиатных денег или будет иметь место мультивалютное обращение, а также будет ли существовать процент, начисляемый на активы в централизованных цифровых валютах.

Перечисленные факторы прямо влияют на будущие последствия цифровых валют центральных банков для финансовых систем, а через финансовые системы и для национальных экономик. Однако вне зависимости от этого, централизованные цифровые валюты, при их эффективном использовании государствами, могут повысить эффективность государственного регулирования экономики, а также увеличить надежность и скорость функционирования национальных платежных систем и снизить их операционные риски.

## Список источников

- Криптовалюты: тренды, риски, меры. 2022. Доклад Банка России для общественных консультаций. М. Банк России, 37 с.
- Calle G., Eidan D. 2020. CBDC: An Innovation in Payments. R3 White Paper, April 2020. URL: [https://www.r3.com/wp-content/uploads/2020/04/r3\\_CBDC\\_report.pdf](https://www.r3.com/wp-content/uploads/2020/04/r3_CBDC_report.pdf) (дата обращения 01.07.2022)
- Central bank digital currencies for cross-border payments. 2021. Policy Paper No. 2021/048, Washington: IMF, July 2021, 37 pp.
- Central bank digital currencies. 2021. BIS 2021 report in three parts: «System design and interoperability», «User needs and adoption», «Financial stability implications», September 30. URL: <https://www.bis.org/publ/othp42.htm> (дата обращения 01.07.2022)



- Kosse A., Mattei I. 2022. Gaining momentum – Results of the 2021 BIS survey on central bank digital currencies. BIS Working Paper №125, May 2022. Basle: BIS, 25 pp.
- Progress of Research Research & Development of E-CNY in China. Working Group on E-CNY Research and Development of the People's Bank of China, July 2021. URL: <http://www.pbc.gov.cn/en/3688110/3688172/4157443/4293696/2021071614584691871.pdf> (дата обращения 01.07.2022)
- PwC CBDC global index April 2022. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/new-ventures/cryptocurrency-assets/pwc-global-cbdc-index-stablecoin-overview-2022.pdf> (дата обращения 01.07.2022)
- The Rise of Public and Private Digital Money. Policy Paper No. 2021/055. Washington: IMF, July 2021, 32 pp.
- WDI World Bank. URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (дата обращения 01.07.2022)

### Список литературы

- Ваганова О.В., Быканова Н.И., Гордя Д.В., Голубоцких В.Н. 2022. Развитие системы Open banking в России. Современная экономика: проблемы и решения, 1(145): 27–37. <https://doi.org/10.17308/meps.2022.1/2752>
- Кочергин Д.А. 2021. Современные модели систем цифровых валют центральных банков. Вестник СПбГУ. Экономика, 37(2): 205–240.
- Раздорозный К.Б. 2018. Сравнительно-правовой анализ категорий «электронных денег» и «криптовалюты». Вестник современных исследований, 7(2): 372–377.
- Vaganova O., Bykanova N., Gordya D., Evdokimov D. 2021. Growth Points of Fintech Industry in the Perception of Financial Market Transformation. European Proceedings of Social and Behavioural Sciences (EpSBS), 103: 435–441.
- Vaganova O.V., Bykanova N.I., Mityushina I.L., Mohanad A.-S., Salim R. 2019. Introduction of the Latest Digital Technologies in the Banking Sector: Foreign Experience and Russian Practice. Humanities and Social Sciences Reviews, 7(5): 789–796.

### References

- Vaganova O.V., Bykanova N.I., Gordya D.V., Golubotskikh V.N. 2022. Development of the Open banking system in Russia. Modern economy: problems and solutions, 1(145): 27–37. <https://doi.org/10.17308/meps.2022.1/2752>
- Kochergin D.A. 2021. Modern models of digital currency systems of central banks. Bulletin of St. Petersburg State University. Economy, 37(2): 205–240.
- Razdorozhny K.B. 2018. Comparative legal analysis of the categories of "electronic money" and "cryptocurrencies". Bulletin of Modern Research, 7(2): 372–377.
- Vaganova O., Bykanova N., Gordya D., Evdokimov D. 2021. Growth Points of Fintech Industry in the Perception of Financial Market Transformation. European Proceedings of Social and Behavioural Sciences (EpSBS), 103: 435–441.
- Vaganova O.V., Bykanova N.I., Mityushina I.L., Mohanad A.-S., Salim R. 2019. Introduction of the Latest Digital Technologies in the Banking Sector: Foreign Experience and Russian Practice. Humanities and Social Sciences Reviews, 7(5): 789–796.

**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

**Ваганова Оксана Валерьевна**, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой инновационной экономики и финансов Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Oksana V. Vaganova**, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Innovative Economics and Finance, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia



**Сидibe Махамату**, аспирант кафедры инновационной экономики и финансов Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

**Прядко Евгения Андреевна**, магистрант кафедры инновационной экономики и финансов Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

**Sidibe Mahamadu**, Postgraduate Student of the Department of Innovative Economics and Finance, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Eugenia A. Pryadko**, Master's student of the Department of Innovative Economics and Finance, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ COMPUTER SIMULATION HISTORY

УДК 519.21

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-546-557

## Оценивание числа слагаемых суммы независимых случайных величин при моделировании гауссовских случайных величин

<sup>1</sup> Ганичева А.В., <sup>2</sup> Ганичев А.В.

<sup>1</sup> Тверская государственная сельскохозяйственная академия,  
Россия, 170904, Тверь, ул. Маршала Василевского, 7

<sup>2</sup> Тверской государственный технический университет,  
Россия, 170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22

E-mail: TGAN55@yandex.ru, alexej.ganichev@yandex.ru

**Аннотация.** Одной из важнейших проблем теории вероятностей является оценка числа слагаемых центральной предельной теоремы, необходимых, чтобы сумма имела нормальный закон распределения вероятностей. В статье данная проблема решена для любых, заранее неизвестных законов распределения независимых слагаемых. Использован аппарат характеристических функций, представленных комплексным рядом Маклорена. Получена оценка погрешности такого представления. Выведено аналитическое выражение для плотности распределения средней выборочной наблюдений. Разработан алгоритм определения необходимого числа наблюдений в зависимости от точности оценки. Для пояснения работы алгоритма рассмотрен пример практической реализации разработанного метода. Результаты моделирования оценки необходимого числа слагаемых сведены в таблицу и представлены на графике.

**Ключевые слова:** сумма случайных величин, средняя выборочная, число слагаемых, характеристическая функция, ряд Маклорена, точность, погрешность, интеграл

**Для цитирования:** Ганичева А.В., Ганичев А.В. 2022. Оценивание числа слагаемых суммы независимых случайных величин при моделировании гауссовских случайных величин. Экономика. Информатика, 49(3): 546–557. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-546-557

## Estimating the Number of Terms in the Sum of Independent Random Variables when Modeling Gaussian Random Variables

<sup>1</sup> Ganicheva A.V., <sup>2</sup> Ganichev A.V.

<sup>1</sup> Tver State Agricultural Academy, 7 Marshal Vasilevsky St, Tver, 170904, Russia

<sup>2</sup> Tver State Technical University, 22 AF. Nikitin Qy, Tver, 170026, Russia

E-mail: TGAN55@yandex.ru, alexej.ganichev@yandex.ru

**Abstract.** One of the most important problems in probability theory and statistics is the estimation of the number of terms of the central limit theorem necessary for the sum to have a normal probability distribution law. This problem becomes especially relevant for any previously unknown distribution laws of random variables. To solve the problem, the apparatus of characteristic functions is used. The characteristic function is represented by a complex Maclaurin series. The representation of the residual term of the series in the form of Cauchy is used. An estimate of the error of such a representation is obtained. An analytical expression is derived for the distribution density of the average sample of observations. An algorithm has been developed to determine the required number of observations depending on the accuracy of the assessment. To explain the operation of the algorithm,

an example of the practical implementation of the developed method is shown. The obtained simulation results for estimating the required number of terms are summarized in a table. For clarity, the results are presented in the graph. The statements proved in the work can be used in multivariate data analysis, systems for diagnostics, monitoring, and statistical control of manufactured products.

**Keywords:** sum of random variables, average sample, number of terms, characteristic function, Maclaurin series, accuracy, error, integral

**For citation:** Ganicheva A.V., Ganichev A.V. 2022. Estimating the Number of Terms in the Sum of Independent Random Variables when Modeling Gaussian Random Variables. Economics. Information technologies, 49(3): 546–557 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-546-557

## Введение

Центральная предельная теорема (ЦПТ) занимает особое место в теории вероятностей. Она лежит в основе решения множества прикладных задач в статистике [Chatterjee, Diaconis, 2017], науке об обработке данных [Draper, Guo, 2021] и составляет краеугольный камень современной статистики [Kwak, Kim, 2017.]. История ЦПТ обстоятельно изложена в книге [Fischer, 2011]. Показана связь истории ЦПТ с развитием теории вероятностей от ее классической до современной формы. В работе [Arras et al., 2020] отмечается многоаспектность данного направления научных исследований, например: исследование скорости сходимости в многомерной ЦПТ [Волгин, 2017], обобщение на случаи симметрических функций от случайных [Гринь, 2021] и гиперслучайных величин [Gorban, 2017], последовательностей случайных величин [Formanov et al., 2021; Senatov, 2007.], марковских цепей [Garet, 2021]. Статья [Roos, 2022] посвящена разработке нового метода характеристических функций, применяемого в ЦПТ.

Задача оценки числа слагаемых, при котором сумма независимых случайных величин имеет нормальный закон распределения вероятностей, решается в работе [Пименов, Тинаев, 2017] путем моделирования. Приведен пример, когда при трех слагаемых график плотности вероятности приближается к нормальному закону, а при более 30 слагаемых он близок к теоретическому нормальному. В статьях [Ганичева, 2020; 2022] получена теоретическая оценка числа слагаемых ЦПТ, необходимых, чтобы сумма имела нормальный закон распределения вероятностей при любых законах распределения слагаемых. В первом случае, когда слагаемые имеют одинаковые математические ожидания и одинаковые дисперсии, во втором случае – разные дисперсии.

Целью статьи является оценка числа  $n$  независимых слагаемых ЦПТ для получения нормального закона распределения вероятностей суммы и средней выборочной с заданной точностью  $\varepsilon$  при любых законах распределения слагаемых, а также получение алгоритмического описания зависимости  $n$  от  $\varepsilon$ .

## Объекты и методы исследования

### 1. Характеристическая функция средней выборочной

Известно, что при сложении  $n$  независимых слагаемых случайных величин, имеющих одинаковые математические ожидания  $m_j$  и дисперсии  $\sigma_j^2$ , причем  $m_{01} \leq m_j \leq m_{02}$ ,  $\sigma_{01} \leq \sigma_j \leq \sigma_{02}$ , сумма будет иметь нормальный закон распределения при достаточно большом  $n$ .

В данной работе рассмотрим вопрос о сумме и средней выборочной таких случайных величин. Докажем, что средняя выборочная будет иметь нормальное распределение при  $n \geq n_0$ , где  $n_0$  определяется на основе разработанного алгоритма.



Найдем зависимость числа слагаемых  $n$  от точности  $\varepsilon$ . И, как следствие, будет получен нормальный закон распределения суммы этих величин с указанием соответствующего числа слагаемых для заданной точности.

Оценим  $n_0$  на основе характеристических функций. Сначала рассмотрим непрерывные случайные величины.

Обозначим через  $q_{x_j} \left( \frac{1}{n_0} t \right) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{\frac{itx_j}{n_0}} \cdot f(x_j) dx_j$  случайной величины  $\frac{X_j}{n_0} (j = \overline{1, n_0})$ . Так как случайные величины  $X_j$  независимы, то характеристическая функция случайной величины  $\bar{x}$  будет:

$$q_{\bar{x}}(t) = \prod_{j=1}^{n_0} q_{x_j} \left( \frac{1}{n_0} t \right) = \prod_{j=1}^{n_0} \int_{-\infty}^{\infty} e^{\frac{itx_j}{n_0}} \cdot f(x_j) dx_j. \quad (1)$$

Представим функцию  $q_{x_j} \left( \frac{1}{n_0} t \right)$  рядом Маклорена:

$$q_{x_j}(0) = 1; \quad q'_{x_j}(0) = \frac{i}{n_0} \int_{-\infty}^{\infty} x_j f(x_j) dx_j = \frac{i}{n_0} m_j.$$

Найдем вторую производную  $q''_{x_j}(0) = \frac{i^2}{n_0^2} \int_{-\infty}^{\infty} x_j^2 f(x) dx = -\frac{1}{n_0^2} \sigma_j^2$  и остаточную сумму ряда

$$S_{ocm}(t) = q_{x_j}(t) - 1 + \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 - \frac{i}{n_0} m_j t. \text{ Так как } q_{x_j}(0) = 1, \text{ то } S_{ocm}(0) = 0.$$

Следовательно,  $q_{x_j}(t) = 1 - \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 + \frac{i}{n_0} m_j t$ . Тогда

$$q_{\bar{x}}(t) = \prod_{j=1}^{n_0} \left( 1 + \left( \frac{i}{n_0} m_j t - \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 \right) \right). \quad (2)$$

Прологарифмируем выражение (2):

$$\ln q_{\bar{x}}(t) = \sum_{j=1}^{n_0} \ln \left( 1 + \left( \frac{i}{n_0} m_j t - \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 \right) \right). \quad (3)$$

Ряд Маклорена от выражения (3) будет:

$$\ln q_{\bar{x}}(t) = \sum_{j=1}^{n_0} \sum_{l=0}^{\infty} \frac{(-1)^l}{l+1} \left( \frac{i}{n_0} m_j t - \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 \right)^{l+1}. \quad (4)$$

Пусть  $z_j = \frac{i}{n_0} m_j t - \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2$ . Обозначим:  $a_j = \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2$ ,  $b_j = \frac{m_j \cdot t}{n_0}$ . Тогда  $z_j = -a_j + ib_j$ .

При этом

$$\begin{aligned} |z_j| &= \left| -\frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 + \frac{i}{n_0} m_j t \right| < 1, \quad j = \overline{1, n_0}, \text{ т. е.} \\ \frac{\sigma_j^4}{4n_0^4} \cdot t^4 + \frac{m_j^2}{n_0^2} t^2 &< 1, \quad j = \overline{1, n_0}. \end{aligned} \quad (5)$$

Отсюда  $n_0^4 - m_j^2 t^2 n_0^2 - \frac{1}{4} \sigma_j^4 t^4 > 0$ ,  $j = \overline{1, n_0}$ . Следовательно,

$$n_0 > \frac{t}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{m_j^2 + \sqrt{m_j^4 + \sigma_j^4}} \quad (j = \overline{1, n_0}). \quad (6)$$

Считаем, что  $-3\sigma_{02} \leq t \leq 3\sigma_{02}$ .

Тогда 
$$n_0 > n_1 = 2,12\sigma_{02} \cdot \sqrt{m_{02}^2 + \sqrt{m_{02}^4 + \sigma_{02}^4}}. \quad (7)$$

Пусть  $t^2\sigma_{02}^2 < 2n_0^2$ , тогда

$$n_0 > n_2 = 2,12\sigma_{02}^2. \quad (8)$$

Из (7) и (8) имеем

$$n_0 \geq n_3 = \max\{n_2, n_1\}.$$

Поскольку ряд (4) равен сумме  $n_0$  рядов, то погрешность суммарного ряда (4) равна сумме погрешностей слагаемых. При этом ряд будет комплексным. Модуль суммарной погрешности

$$|R_l| \leq \sum_{j=1}^{n_0} \left( \frac{|z_j - c_j|}{r_j} \right)^l \cdot \frac{r_j \cdot M(r_j)}{r_j - |z_j - c_j|},$$

где  $|z_j - c_j| = r_j$  – окружность  $K_j$  радиуса  $r_j$  с центром в точке  $c_j$ ,  $M(r_j)$  – верхняя граница  $|f(z_j)|$  на  $K_j$ .

Для рассматриваемого случая  $c_j = 0$ ,  $f(z_j) = \ln(1 + z_j)$ ,  $r_j = 1$ , т. е.

$$|R_l| \leq \left| \sum_{j=1}^{n_0} |z_j|^l \cdot \frac{M(1)}{1 - |z_j|} \right|. \quad (10)$$

Оценим  $M(1)$ .

Имеем:  $f(z_j) = f(-a_j + ib_j) = \ln(1 + (-a_j + ib_j))$ . При этом  $f(z_j)$  можно представить в виде:  $f(z_j) = x_j + iy_j$ . Отсюда получаем:

$$\begin{cases} e^{x_j} \cdot \cos y_j = 1 - a_j, \\ e^{x_j} \cdot \sin y_j = b_j. \end{cases} \quad (11)$$

Следовательно,  $\operatorname{tg} y_j = \frac{b_j}{1 - a_j}$ ,  $y_j = \operatorname{arctg} \frac{b_j}{1 - a_j}$ , т. е.  $\frac{\sin y_j}{\cos y_j} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 y_j}}{\cos y_j} = \frac{b_j}{1 - a_j}$ .

Отсюда находим:  $\cos y_j = \frac{1 - a_j}{\sqrt{(1 - a_j)^2 + b_j^2}}$ . Здесь учтено, что  $a_j = \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 < 1$  при  $n_0 \geq 2,12\sigma_{02}^2$

(условие (8)). Тогда с учетом первого уравнения из (11) получаем:

$$x_j = \frac{1}{2} \ln((1 - a_j)^2 + b_j^2).$$

Таким образом,

$$f(z_j) = \ln(1 + (-a_j + ib_j)) = \frac{1}{2} \ln(1 - a_j)^2 + b_j^2 + i \cdot \operatorname{arctg} \frac{b_j}{1 - a_j}. \quad (12)$$

Фиксируем  $n_0$  и подставим в (12) вместо  $a_j$  и  $b_j$  их выражения через  $n_0$ ,  $m_j$ ,  $\sigma_j^2$  и  $t$ . Получим:

$$f(z_j) = \ln \left( 1 - \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 + \frac{i}{n_0} m_j t \right) = \frac{1}{2} \ln \left( \left( 1 - \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 \right)^2 + \frac{m_j^2 t^2}{n_0^2} \right) + i \cdot \operatorname{arctg} \frac{m_j t}{n_0 \left( 1 - \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 \right)}.$$

При фиксированных  $n_0, m_j, \sigma_j^2$  полученное выражение является функцией  $t$ . Находим:

$$|f(z_j)| = \sqrt{\frac{1}{4} \ln^2 \left( \left( 1 - \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 \right)^2 + \frac{m_j^2 t^2}{n_0^2} \right) + \operatorname{arctg}^2 \frac{m_j t}{n_0 \left( 1 - \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 \right)}}. \quad (13)$$

Оценим  $|f(z_j)|$ . Заметим, что  $\ln(1+x) \approx x$  с точностью  $\frac{x^2}{2(1-\xi x)}$ , где  $0 < \xi < 1$ . Здесь использовано представление остаточного члена в форме Коши:

$$r(x) = \frac{x^{k+1}}{k+1} \cdot \frac{(1-\xi)^k}{(1-\xi x)^{k+1}}.$$

При этом  $\left( \frac{1-\xi}{1-\xi x} \right) < 1$ , т. к. согласно (5),  $x \leq 1$  при  $n_0 \geq n_1$ , и тогда  $\xi x < \xi$ . Следовательно,

$$\ln((1-a_j)^2 + b_j^2) = \ln(1 + (a_j^2 + b_j^2 - 2a_j)) \approx a_j^2 + b_j^2 - 2a_j, \quad (14)$$

с точностью  $(a_j^2 + b_j^2 - 2a_j)^2 \cdot \frac{n_0}{2} < \varepsilon$  т.к.  $\frac{1}{1-\xi x} < n_0$  при  $n_0 > 2$  и  $\xi x < 1$ . Отсюда

$$|a_j^2 + b_j^2 - 2a_j| < \frac{\sqrt{2\varepsilon}}{\sqrt{n_0}}, \quad (15)$$

т. е.  $-\frac{\sqrt{2\varepsilon}}{\sqrt{n_0}} < \frac{\sigma_j^4}{4n_0^4} t^4 - \left( \frac{\sigma_j^2}{n_0^2} - \frac{m_j^2}{n_0^2} \right) t^2 < \frac{\sqrt{2\varepsilon}}{\sqrt{n_0}},$

$$\begin{cases} \sqrt{2\varepsilon} \cdot n_0^{3.5} + (\sigma_j^2 - m_j^2) \cdot n_0^2 t^2 - \frac{\sigma_j^4}{4} t^4 \geq 0, \\ \sqrt{2\varepsilon} \cdot n_0^{3.5} - (\sigma_j^2 - m_j^2) \cdot n_0^2 t^2 + \frac{\sigma_j^4}{4} t^4 \geq 0. \end{cases} \quad (16)$$

Система верна для любого  $n_0 > 2$  и любого  $j = \overline{1, n_0}$ .

Получим оценку для  $n_0$ , при которой аргумент арктангенса будет не больше  $\sqrt{\varepsilon}$ . Имеем

$$x = 3\sigma_{02} m_{02} / n_0 \left( 1 - \frac{9\sigma_{02}^4}{2n_0^2} \right) < \sqrt{\varepsilon}, \quad (17)$$

здесь взято  $3\sigma_{02}$  (максимальное значение  $t$ ). Получим

$$3\sigma_{02} m_{02} < \sqrt{\varepsilon} n_0 \cdot \left( 1 - \frac{9\sigma_{02}^4}{2n_0^2} \right), \text{ т.к. } 1 - \frac{9\sigma_{02}^4}{2n_0^2} > 0 \text{ при}$$

$$n_0 > n_2 = 2,12\sigma_{02}^2. \quad (18)$$

Отсюда находим

$$n_0 > n_4 = \frac{3m_{02}\sigma_{02} + 3\sigma_{02}\sqrt{m_{02}^2 + 2\varepsilon\sigma_{02}^2}}{2\sqrt{\varepsilon}}. \quad (19)$$

Следовательно,

$$\operatorname{arctg} x \leq \operatorname{arctg} \sqrt{\varepsilon} \approx \sqrt{\varepsilon} \quad (20)$$

с погрешностью  $x^3/3 = \sqrt{\varepsilon}^3/3$  (ряд Лейбница) при  $n_0 > n_4$ .

Таким образом,  $|f(z_j)| \leq \sqrt{\frac{1}{4} \left( \frac{\sqrt{2\varepsilon}}{\sqrt{n_0}} \right)^2} + \varepsilon = \sqrt{\varepsilon} \sqrt{\frac{1}{2n_0} + 1} \leq \sqrt{\varepsilon} \sqrt{\varepsilon + 1}$  при  $n_0 \geq n_6 = \max\{n_3, n_4, n_5\}$ ,

где

$$n_5 = \frac{1}{2\varepsilon}. \quad (21)$$

Получим оценку для  $|R_l|$  на основе (14), (15), (20):

$$|R_l| \leq \sum_{j=1}^{n_0} |z_j|^l \cdot \sqrt{\varepsilon} \sqrt{\varepsilon + 1} / (1 - |z_j|).$$

Отсюда

$$|R_l| \leq n_0 \cdot \left( \frac{81\sigma_{02}^4}{4n_0^4} + \frac{9m_{02}^2 \cdot \sigma_{02}^2}{n_0^2} \right)^{1/2} \cdot \sqrt{\varepsilon} \sqrt{\varepsilon + 1} / \left( 1 - \sqrt{\frac{81\sigma_{02}^4}{4n_0^4} + \frac{9m_{02}^2 \cdot \sigma_{02}^2}{n_0^2}} \right). \quad (22)$$

Пусть в (22) при  $l=2$  правая часть не превосходит  $\varepsilon$ , т. е.  $|R_2| < \varepsilon$ . Оценим соответствующее значение  $n_0$ . Из (22) имеем:

$$\left( \frac{81\sigma_{02}^8}{4n_0^3} + \frac{9m_{02}^2 \sigma_{02}^2}{n_0} \right) \cdot \sqrt{\varepsilon + 1} + \frac{\varepsilon^{0.5}}{\sqrt{n_0}} \sqrt{\frac{81\sigma_{02}^8}{4n_0^3} + \frac{9m_{02}^2 \sigma_{02}^2}{n_0}} - \varepsilon^{0.5} \leq 0.$$

Для краткости обозначим выражение в скобках первого слагаемого через  $V$ , т. е.  $\sqrt{\varepsilon + 1} \cdot V + \frac{\varepsilon^{0.5}}{\sqrt{n_0}} \sqrt{V} - \varepsilon^{0.5} \leq 0$ . Находим  $\sqrt{V} \leq \frac{-\varepsilon^{0.5}/\sqrt{n_0} + \sqrt{\varepsilon/n_0 + 4\sqrt{\varepsilon + 1}\varepsilon^{0.5}}}{2\sqrt{\varepsilon + 1}}$ . Усилим по-

следнее неравенство:  $\sqrt{(\varepsilon + 1)} \sqrt{V} \leq -\frac{\varepsilon^{0.5}}{2\sqrt{n_0}} + \varepsilon^{0.5}$  и

$$(\varepsilon + 1) \cdot \left( \frac{81\sigma_{02}^8}{2n_0^3} + \frac{9m_{02}^2 \sigma_{02}^2}{n_0} \right) \leq \left( 1 - \frac{1}{2\sqrt{n_0}} \right)^2 \cdot \varepsilon^{0.25}.$$

Положим  $d = \left( 1 - \frac{1}{2\sqrt{n_0}} \right)^2 \cdot \varepsilon^{0.25}$ . Тогда последнее неравенство преобразуется к виду:

$$2dn_0^3 - 18m_{02}^2 \sigma_{02}^2 n_0^2 (\varepsilon + 1) - 81\sigma_{02}^8 (\varepsilon + 1) \geq 0. \quad (23)$$

Решая данное неравенство, находим сначала решение уравнения – некоторое  $n_7$ , тогда  $n_0 \geq n_8 = \max\{n_6, n_7\}$ . Таким образом, при  $n_0 \geq n_8$  погрешность  $R_2$  по абсолютной величине

не превосходит  $\varepsilon$ , т. е.  $|R_2| = \varepsilon_1 \leq \varepsilon$ . Тогда при  $n_0 \geq n_8$   $\ln q_{\bar{x}}(t) = -\sum_{j=1}^{n_0} \left( -\frac{i}{n_0} m_j t + \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 \right)$  с погрешностью  $R_2$ , т. е.

$$q_{\bar{x}}(t) = \exp \left( -\sum_{j=1}^{n_0} \left( -\frac{i}{n_0} m_j t + \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \cdot t^2 \right) + R_2 \right). \quad (24)$$

В то же время в общем случае  $R_2$  является комплексной величиной, зависящей от  $\gamma$  и  $R_2 = \varepsilon_1 \cdot (\cos \gamma + i \sin \gamma)$ , где  $\gamma$  – аргумент  $R_2$ , отсюда  $|R_2 - i\varepsilon_1 \sin \gamma| = \varepsilon_1 \leq \varepsilon$ . Тогда и при максимальном значении  $\varepsilon = 0,9$  можно считать, что  $R_2 = i\varepsilon_1 \sin \gamma$  и  $e^{R_2} = e^{\varepsilon_1 \cos \gamma} \cdot e^{i\varepsilon_1 \sin \gamma} = e^{i\varepsilon_1 \sin \gamma}$ .

Пусть  $X = \varepsilon_1 \cdot \sin \gamma$ , тогда  $X$  – случайная величина и  $q_{1x}(t) = M[e^{itX}]$  – характеристическая функция случайной величины  $X$ . Отсюда получаем:

$$q_{1x}(t) \approx 1 + itM[X] \text{ с точностью } \frac{\xi^2}{2} M[X^2], \quad 0 < \xi < x.$$

Считаем, что угол  $\gamma$  распределен равномерно в промежутке  $[-\pi/2, \pi/2]$ .

Для примера рассмотрим этот случай, тогда  $M[X] = \frac{\varepsilon_1}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sin \gamma d\gamma = 0$ ;

$M[X^2] = D_x = \frac{\varepsilon_1^2}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sin^2 \gamma d\gamma = 0$ . Таким образом, погрешность  $\frac{\xi^2}{2} M[X^2]$  равна нулю.

Следовательно,  $q_{1x}(t) = 1, R_2 = 0$  и  $e^{R_2} = 1$ . Рассмотрен случай, когда  $\gamma$  имеет равномерное распределение, но такой же результат будет и при других распределениях  $f_1(\gamma)$ , т. к.

$$\begin{aligned} M[X] &= \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sin \gamma \cdot f_1(\gamma) d\gamma = \left| \begin{array}{l} u = \sin \gamma, \quad du = \cos \gamma d\gamma, \\ v = \int f_1(\gamma) d\gamma \end{array} \right| = \\ &= \sin \gamma \left| \frac{\pi}{2} \right| \cdot \int_{-\pi/2}^{\pi/2} f_1(\gamma) d\gamma - \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos \gamma d\gamma \cdot \int_{-\pi/2}^{\pi/2} f_1(\gamma) d\gamma = 0. \end{aligned}$$

Аналогично можно показать, что  $M[X^2] = 0$ . Следовательно, в (24)  $R_2 = 0$ .

## 2. Плотность распределения средней выборочной. Оценка числа слагаемых

Подвергнем  $q_x(t)$  обратному преобразованию Фурье, получим:

$$f(\bar{x}) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-it\bar{x}} \cdot q_x(t) dt. \quad (25)$$

На основе (24) имеем:

$$f(\bar{x}) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-it\bar{x}} \cdot e^{-\sum_{j=1}^{n_0} \left( -\frac{i}{n_0} m_j t + \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} t^2 \right)} dt. \quad (26)$$

Используем известную формулу, сводящуюся к интегралу Эйлера – Пуассона:

$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-Ax \pm 2Bx - C} dx = \sqrt{\frac{\pi}{A}} \cdot e^{-\frac{AC-B^2}{A}}$ . Тогда

$$f(\bar{x}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{\sum_{j=1}^{n_0} \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2}}} e^{-\sum_{j=1}^{n_0} \left( \frac{\bar{x} - m_j}{n_0} \right)^2 / \sum_{j=1}^{n_0} \frac{\sigma_j^2}{n_0}}. \quad (27)$$

Заметим, что при вычислении  $f(\bar{x})$  используется несобственный интеграл при  $t \in (-\infty, \infty)$ . Однако  $t \in [-3\sigma_{02}, 3\sigma_{02}]$ . Покажем, что с любой заданной точностью  $\varepsilon$  при соответствующем  $n_0$  интеграл (26) в пределах от  $-\infty$  до  $\infty$  будет отличаться на  $\varepsilon$  от соответствующего интеграла с границами от  $-3\sigma_{02}$  до  $3\sigma_{02}$ .

Из (26) имеем:  $f(\bar{x}) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-t^2 \sum_{j=1}^{n_0} \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} + it \sum_{j=1}^{n_0} \left(\frac{m_j}{n_0} - \bar{x}\right)} dt$ .

Преобразуем подынтегральное выражение. Выделим в показателе полный квадрат:

$$-\sum_{j=1}^{n_0} \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \left( t^2 - 2it \sum_{j=1}^{n_0} \left(\frac{m_j}{n_0} - \bar{x}\right) \right) / \sum_{j=1}^{n_0} \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} - \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{n_0} \left(\frac{m_j}{n_0} - \bar{x}\right)^2 / \sum_{j=1}^{n_0} \left(\frac{\sigma_j^2}{2n_0^2}\right)^2 +$$

$$+ \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{n_0} \left(\frac{m_j}{n_0} - \bar{x}\right)^2 / \sum_{j=1}^{n_0} \left(\frac{\sigma_j^2}{2n_0^2}\right)^2 = -\sum_{j=1}^{n_0} \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \left( t - i \sum_{j=1}^{n_0} \left(\frac{m_j}{n_0} - \bar{x}\right) / \sum_{j=1}^{n_0} \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \right)^2 - \frac{1}{4} \left( \sum_{j=1}^{n_0} \frac{m_j}{n_0} - \bar{x} \right)^2 / \sum_{j=1}^{n_0} \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2}.$$

Обозначим:  $a = \sum_{j=1}^{n_0} \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2}$ ,  $b = \sum_{j=1}^{n_0} \frac{m_j}{n_0} - \bar{x}$ . Отсюда получаем:

$$f(\bar{x}) = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{1}{4a} b^2} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-a \left( t - i \frac{b}{a} \right)^2} dt. \quad (28)$$

Покажем, что с точностью  $\varepsilon/2$  интеграл (28) при соответствующем  $n_0$  в пределах от  $3\sigma_{02}$  до  $\infty$  будет сколь угодно мало отличаться от 0 (на величину  $\varepsilon/2$ ).

Положим  $u = \left( t - i \frac{b}{a} \right) \sqrt{a}$ , тогда  $du = \sqrt{a} dt$ . Пусть  $b_1 = \left( 3\sigma_{02} - i \frac{b}{a} \right) \sqrt{a}$ . Имеем:

$$\int_{3\sigma_{02}}^{\infty} e^{-a \left( t - i \frac{b}{a} \right)^2} dt = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{b_1}^{\infty} e^{-u^2} du.$$

Для вычисления последнего интеграла возведем его в квадрат, затем перейдем к двойному интегралу в полярных координатах:

$$\left( \int_{b_1}^{\infty} e^{-u^2} du \right)^2 = \int_{b_1}^{\infty} e^{-u^2} du \cdot \int_{b_1}^{\infty} e^{-v^2} dv = \int_0^{\pi} d\varphi \cdot \int_{|b_1|}^{\infty} r \cdot e^{-r^2} dr,$$

где  $r^2 = u^2 + v^2$ ,

т. е.  $\frac{1}{\sqrt{a}} \int_{b_1}^{\infty} e^{-u^2} du = \sqrt{\frac{\pi}{2a}} \cdot e^{-\frac{1}{2}|b_1|^2}$ . Потребуем, чтобы этот интеграл не превосходил  $\frac{\varepsilon}{2}$  и оценим соответствующее  $n_0$ .

Отсюда 
$$-\frac{1}{2}|b_1|^2 \leq \ln \left( \frac{\varepsilon}{2} / \sqrt{\frac{\pi}{2a}} \right), \quad (29)$$

или

$$9\sigma_{02}^2 \cdot \sum_{j=1}^{n_0} \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} + \left( \sum_{j=1}^{n_0} \frac{m_j}{n_0} - \bar{x} \right)^2 / \sum_{j=1}^{n_0} \frac{\sigma_j^2}{2n_0^2} \geq -2 \ln \left( \frac{\varepsilon}{2\sqrt{\pi}} \sqrt{\sum_{j=1}^{n_0} \frac{\sigma_j^2}{n_0^2}} \right).$$

Усилим последнее неравенство:

$$4,5\sigma_{02}^2 \cdot \sigma_{01}^2 + 2n_0^2 \left( m_{01}^2 - 2m_{02}\bar{x} + \bar{x}^2 \right) / \sigma_{02}^2 + 2n_0 \ln \frac{\varepsilon \cdot \sigma_{02}}{2\sqrt{\pi} \sqrt{n_0}} \geq 0. \quad (30)$$

С учетом масштабирования (полагаем  $\sigma_{02} = 1$ ), сдвига по горизонтальной оси (полагаяем  $m_{02} = 0$ ) последнее неравенство можно усилить следующим образом:

$$2n_0 \cdot m_{01}^2 \geq \ln n_0 - 2 \cdot \ln \varepsilon + 2 \cdot \ln 3,544. \quad (31)$$

Так, при минимальном значении  $\varepsilon = 0,002$  неравенство (31) будет иметь вид;

$$2n_0 \cdot m_{01}^2 \geq \ln n_0 - 2 \cdot \ln 0,00056,$$

т. е.

$$2n_0 \cdot m_{01}^2 \geq \ln n_0 + 14,9751.$$

Из (31) для данных  $m_{01}$  и  $\varepsilon$  находим соответствующее значение  $n_0$  – решение (31), рассматриваемого как равенство. Тогда при  $n_0 \geq n_9$  интеграл (28) в границах от  $3\sigma_{02}$  до  $\infty$  будет сколь угодно мало отличаться от 0 (на  $\frac{\pi}{2}$ ). Аналогичное утверждение будет верно для этого интеграла и в границах от  $-\infty$  до  $-3\sigma_{02}$ . Следовательно, при  $n_0 \geq n_9$  интеграл (26) будет равен соответствующему интегралу с границами от  $-3\sigma_{02}$  до  $3\sigma_{02}$  с точностью  $\varepsilon > 0$ .

Итак, доказано следующее утверждение.

**Теорема.** Пусть имеется  $n$  независимых случайных величин, математические ожидания  $m_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ) которых попадают в интервал  $(m_{01}, m_{02})$ , средние квадратические отклонения попадают в интервал  $(\sigma_{01}, \sigma_{02})$ . Тогда для любого  $\varepsilon > 0$  найдется  $n_0 \geq \max\{n_8, n_9\}$ , определяемое с учетом (7), (8), (19), (21), (23), (30), (31) и такое, что при  $n \geq n_0$  случайная величина  $\bar{x}$  будет иметь нормальное распределение с математическим ожиданием  $\sum_{j=1}^n \frac{m_j}{n}$  и сред-

ним квадратическим отклонением  $\sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{\sigma_j^2}{2n^2}}$  с погрешностью  $\varepsilon$ .

Следствие 1. В рамках доказанной теоремы следует, что сумма  $n$  случайных независимых величин будет иметь нормальный закон распределения, т. к.  $Y = n\bar{x}$  имеет нормальное распределение при  $n \geq n_0$ .

Следствие 2. В случае  $n$  независимых дискретных случайных величин для каждой из них с любой заданной степенью точности строится эконометрическая модель, при этом число значений каждой случайной величины должно быть не менее 7. Затем применяется изложенный в подразделе 1 метод для непрерывных случайных величин.

### Результаты и их обсуждение

Рассмотрим конкретный пример. Пусть  $\sigma_{01} = 0,8$ ,  $\sigma_{02} = 1$ ,  $\varepsilon = 0,1$ ,  $m_{01} = -0,8$ ,  $m_{02} = 0$ ,  $m = 6$ .

Алгоритм построения  $f(\bar{x})$  заключается в последовательности шагов (справа указан номер формулы).

$$1. n_1 = 2,12\sigma_{02}\sqrt{m_{02}^2 + \sqrt{m_{02}^4 + \sigma_{02}^4}}. \quad (7)$$

Для рассматриваемого примера имеем:  $n_1 = 2,12$ .

$$2. n_2 = 2,12\sigma_{02}, \quad (8)$$

т. е.  $n_2 = 2,12$  – для рассматриваемого примера.

$$3. n_3 = \max\{n_1, n_2\}, \text{ т. е. } n_3 = 2,12.$$

$$4. n_4 = 2,12\sigma_{02}^2, \quad n_4 = 2,12. \quad (19)$$

$$5. n_5 = \frac{1}{2\varepsilon}, \quad n_5 = 5 \quad (21)$$

$$6. n_6 = \max\{n_3, n_4, n_5\}, \quad n_6 = 5.$$

7.  $n_7$  находится из неравенства (23):

$$2dn_0^3 - 18m_{02}^2\sigma_{02}^2n_0^2(\varepsilon + 1) - 81\sigma_{02}^8(\varepsilon + 1) \geq 0,$$

где  $d = (1 - 1/2\sqrt{n_0})^2 \cdot \varepsilon^{0,25}$ . Для рассматриваемого примера  $n_7 = 5$

8.  $n_8 = \max \{n_6, n_7\} = \max \{5, 5\} = 5$ .

9.  $n_9$  определяется из неравенства (31):

$$2n_0 \cdot m_{01}^2 \geq \ln n_0 - 2 \cdot \ln \varepsilon + 2 \cdot \ln 3,544, \quad n_9 = 5.$$

10.  $n_0 = \max \{n_8, n_9\} = \max \{5, 5\}, \quad n_0 = 5$ .

11. Построим таблицу (см. таблицу) и график зависимости  $n_0$  от  $\varepsilon$  (рисунок).

Точность  $\varepsilon$  и количество шагов  $n_0$

Accuracy  $\varepsilon$  and number of steps  $n_0$

$\varepsilon$	0,002	0,004	0,005	0,01	0,02	0,05	0,07	0,08	0,1	0,5
$n_0$	250	125	100	50	25	10	7	6	5	5

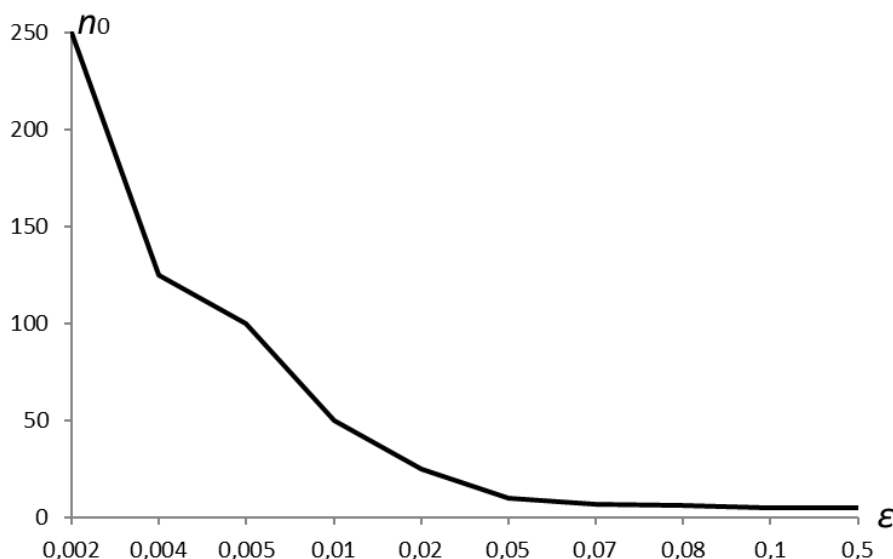


График зависимости  $n_0$  от  $\varepsilon$

Graph of dependence  $n_0$  on  $\varepsilon$

Изображенная на рисунке зависимость аналогична зависимостям, полученным в статьях [Ганичева, 2020; Ганичева, 2022] для нормального закона распределения вероятностей. Таким образом, настоящее исследование является обобщением результатов, полученных в [Ганичева, 2020; Ганичева, 2022] при любых законах распределения слагаемых ЦПТ.

### Заключение

Основные результаты работы:

- 1) получено аналитическое выражение для плотности распределения средней выборочной любых законов распределения;
- 2) разработан алгоритм определения числа слагаемых ЦПТ в зависимости от точности оценки;
- 3) приведена практическая реализация разработанного метода;
- 4) результаты моделирования проиллюстрированы графиком.



## Список литературы

- Волгин А.В. 2017. Улучшение оценки скорости сходимости в многомерной центральной предельной теореме для сумм локально зависимых случайных векторов. Прикладная дискретная математика, 36: 13–24.
- Ганичева А.В. 2022. Оценка числа слагаемых нормальной аппроксимации сумм независимых случайных величин. Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика, 1: 26–34. DOI: 10.18101/2304-5728-2022-1-26-34.
- Ганичева А.В. 2020. Оценка числа слагаемых центральной предельной теоремы. Прикладная математика и вопросы управления, 4: 7–19. DOI: 10.15593/2499-9873/2020.4.01.
- Гринь А.Г. 2021. О центральной предельной теореме с нелинейной масштабной нормировкой. Математические структуры и моделирование, 4 (60): 9–16. DOI: 10.24147/2222-8772.2021.4.9-16.
- Пименов С.Ю., Тинаев В.В. 2017. Применение центральной предельной теоремы для компьютерного моделирования случайных сигналов. Наука и образование: новое время, 2 (19): 227–231.
- Arras B., Breton J.-C., Aurelia Deshayes A., Durieu O., Lachièze-Rey R. 2020. Some recent advances for limit theorems. ESAIM Proceedings and Surveys, 68: 73–96. DOI:10.1051/proc/202068005.
- Chatterjee S., Diaconis P. 2017. A central limit theorem for a new statistic on permutations. Indian J. Pure Appl. Math., 48(4): 561–573. DOI: 10.1007/s13226-017-0246-3.
- Draper D., Guo E. 2021. The Practical Scope of the Central Limit Theorem. Other Statistics: 47. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.12267>. Corpus ID: 244527194.
- Fischer H. 2011. A History of the Central Limit Theorem From Classical to Modern Probability Theory. Springer Science+Business Media, LLC: 415 p. DOI 10.1007/978-0-387-87857-7.
- Formanov S., Khusainova B., Sirozhitdinov A. 2021. On the numerical characteristics in the central limit theorem. AIP Conference Proceedings 2365: 060011. DOI: 10.1063/5.0058101.
- Garet O. 2021. A central limit theorem for the number of descents and some urn models. Markov Processes And Related Fields, Polymat Publishing Company, 27 (5): 789–801.
- Gorban I.I. 2017. The central limit theorem/ The Statistical Stability Phenomenon: 261–270. DOI:10.1007/978-3-319-43585-5\_19.
- Kwak S.G., Kim J.H. 2017. Central limit theorem: the cornerstone of modern statistics. Korean journal of anesthesiology. 70(2): 144. DOI:10.4097/kjae.2017.70.2.144.
- Roos B. 2022. On the accuracy in a combinatorial central limit theorem: the characteristic function method, 67 (1): 150–175. DOI: 10.4213/tvp5412.
- Senatov V.V. 2007. On Asymptotic Expansions in the Central Limit Theorem with Explicit Estimates of Remainder Terms Theory of Probability and Its Applications, 51(4): 729–736. DOI: 10.1137/S0040585X9798275X.

## References

- Volgin A.V. 2017. Uluchshenie ocenki skorosti shodimosti v mnogomernoj central'noj predel'noj teoreme dlja summ lokal'no zavisimyh sluchajnyh vektorov [Improving the rate of convergence in the multidimensional central limit theorem for sums of locally dependent random vectors]. Prikladnaja diskretnaja matematika [Applied Discrete Mathematics], 36: 13–24.
- Ganicheva A.V. 2022. Estimation of the number of terms of the normal approximation of the sums of independent random variables. BSU bulletin. Mathematics, Informatics, 1: 26–34 (in Russian). DOI: 10.18101/2304-5728-2022-1-26-34.
- Ganicheva A.V. 2020. Estimation of the number of summands of the central limit theorem. Applied Mathematics and Control Sciences, 4: 7–19 (in Russian). DOI: 10.15593/2499-9873/2020.4.01.
- Grin A.G. 2021. On the central limit theorem with nonlinear scale normalization. Mathematical Structures and Modeling, 4 (60): 9–16. DOI: 10.24147/2222-8772.2021.4.9-16.
- Pimenov S.Ju., Tinaev V.V. 2017. Primenenie central'noj predel'noj teoremy dlja komp'juternogo modelirovaniya sluchajnyh signalov [Application of the central limit theorem for computer simulation of random signals]. Nauka i obrazovanie: novoe vremja [Science and Education: Modern Times], 2(19): 227–231.
- Arras B., Breton J.-C., Aurelia Deshayes A., Durieu O., Lachièze-Rey R. 2020. Some recent advances for limit theorems. ESAIM Proceedings and Surveys, 68: 73–96. DOI:10.1051/proc/202068005.

- Chatterjee S., Diaconis P. 2017. A central limit theorem for a new statistic on permutations. *Indian J. Pure Appl. Math.*, 48(4): 561–573. DOI: 10.1007/s13226-017-0246-3.
- Draper D., Guo E. 2021. The Practical Scope of the Central Limit Theorem. *Other Statistics*: 47. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.12267>. Corpus ID: 244527194.
- Fischer H. 2011. *A History of the Central Limit Theorem From Classical to Modern Probability Theory*. Springer Science+Business Media, LLC: 415 p. DOI 10.1007/978-0-387-87857-7.
- Formanov S., Khusainova B., Sirozhitdinov A. 2021. On the numerical characteristics in the central limit theorem. *AIP Conference Proceedings* 2365: 060011. DOI: 10.1063/5.0058101.
- Garet O. 2021. A central limit theorem for the number of descents and some urn models. *Markov Processes And Related Fields*, Polymat Publishing Company, 27 (5): 789–801.
- Gorban I.I. 2017. The central limit theorem/ *The Statistical Stability Phenomenon*: 261–270. DOI:10.1007/978-3-319-43585-5\_19.
- Kwak S.G., Kim J.H. 2017. Central limit theorem: the cornerstone of modern statistics. *Korean journal of anesthesiology*. 70 (2): 144. DOI:10.4097/kjae.2017.70.2.144.
- Roos B. 2022. On the accuracy in a combinatorial central limit theorem: the characteristic function method, 67 (1): 150–175. DOI: 10.4213/typ5412.
- Senatov V.V. 2007. On Asymptotic Expansions in the Central Limit Theorem with Explicit Estimates of Remainder Terms *Theory of Probability and Its Applications*, 51(4): 729–736. DOI: 10.1137/S0040585X9798275X.

**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

**Ганичева Антонина Валериановна**, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра физико-математических дисциплин и информационных технологий, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, Тверь, Россия

**Antonina V. Ganicheva**, Candidate in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department Physical and Mathematical Disciplines and Information Technology, Tver State Agricultural Academy, Tver, Russian Federation

ORCID: [0000-0002-0224-8945](https://orcid.org/0000-0002-0224-8945)

**Ганичев Алексей Валерианович**, доцент, кафедра информатики и прикладной математики, Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

**Aleksey V. Ganichev**, Associate Professor, Department of Informatics and Applied Mathematics, Tver State Technical University, Tver, Russian Federation

ORCID: [0000-0003-3389-7582](https://orcid.org/0000-0003-3389-7582)

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 519.816

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-558-565

## Разработка структуры системы поддержки принятия решений при управлении лесохозяйственным комплексом

**Иванов С.А.**

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова,  
Россия, 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5,  
Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики  
Россия, 190103, Санкт-Петербург, Лермонтовский пр., д. 44  
E-mail: kemsit@mail.ru

**Аннотация.** Управление лесохозяйственным комплексом – нетривиальная задача, решение которой требует анализа различных факторов. Цифровизация данного процесса должна включать в себя разработку таких модулей информационной системы, как геоинформационную, поддержки принятия решений, паттерны для сбора и интеллектуального анализа данных. В данной статье рассмотрены основные тенденции по цифровизации лесной отрасли, предложена и декомпозирована система управления лесохозяйственным комплексом. Определены основные преимущества использования системы поддержки принятия решений (СППР) в модуле обработки данных, разработана структура системы поддержки принятия решений, определен критерий оптимальности.

**Ключевые слова:** обработка данных, модель СППР, оптимальное решение

**Для цитирования:** Иванов С.А. 2022. Разработка структуры системы поддержки принятия решений при управлении лесохозяйственным комплексом. Экономика. Информатика, 49(3): 558–565. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-558-565

## Development of the Structure of a Decision Support System in the Management of the Forestry Complex

**Sergey A. Ivanov**

Saint-Petersburg State Forest Technical University  
5 Institutskiy Ln, Saint-Petersburg, 194021, Russia  
Saint Petersburg University of Management Technologies and Economics  
44 Lermontovsky Ave, Saint-Petersburg, 190103, Russia  
E-mail: kemsit@mail.ru

**Abstract.** The management of the forestry complex is a non-trivial task, the solution of which requires the analysis of various factors. The digitalization of this process should include the development of information system modules such as geoinformation, decision support, patterns for data collection and data mining. Taking into account the complexity and non-stationarity of the sphere of the agro-industrial complex and forestry as objects of management, as well as the stochastic nature of processes, the optimization of measures is a difficult task. This article discusses the main trends in the digitalization of the forest industry, proposes and decomposes a management system for the forestry complex. The structure of the information system, which includes key patterns, has been developed. The main advantages of using the decision support system (DSS) in the data processing module are determined, the structure of the decision support system is developed, and the optimality criterion is determined.

**Keywords:** data processing, DSS model, optimal solution

**For citation:** Ivanov S.A. 2022. Development of the Structure of a Decision Support System in the Management of the Forestry Complex. *Economy. Informatics*, 49(3): 558–565 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-558-565

## Введение

Существующая система государственного управления лесохозяйственной деятельностью имеет сложную многоуровневую ведомственную структуру, что обусловило распределение полномочий и функций управления ею на федеральном, региональном и муниципальном уровнях власти [Головачев, 2012; Кислухина, 2012; Резанов, 2014; Маркова, 2017; Попов, 2020]. С 4 февраля 2021 г. действует подписанный Президентом Российской Федерации закон о цифровой трансформации лесного комплекса. Предусматривается создание федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК) с обеспечением полной прослеживаемости древесины от мест её заготовки и складирования до производства продукции, её переработки и вывоза продукции из РФ [Заикин и др., 2022].

Учитывая сложность и нестационарность сферы агропромышленного комплекса и лесного хозяйства как объектов управления, а также стохастичность процессов, оптимизация мероприятий является сложной задачей. Решение её связано с разработкой критериев для оценки, определения факторов, влияющих на эффективность, с разработкой моделей, методов и программных средств для поддержки принятия решений [Панов и др., 2016].

## Объекты и методы исследования

Управление лесохозяйственным комплексом – сложный процесс, требующий на сегодняшний день глубокого уровня автоматизации и применения разных подходов для получения, обработки, анализа данных и принятия решений на основе проведенного анализа. Несмотря на возникающие сложности и слабое относительно других отраслей проникновение информационных технологий, в лесном хозяйстве есть и запрос на цифровизацию, и потенциал на реализацию различных ИТ-проектов. В целом такую систему можно декомпозировать на три основных компонента:

1. модуль мониторинга (сбора) данных, который состоит из наземного мониторинга и системы мониторинга при помощи беспилотных летательных аппаратов (БЛА);
2. модуль обработки данных, состоящий из системы поддержки принятия решений, системы интеллектуального анализа данных и геоинформационной системы (ГИС);
3. модуль визуализации данных, который включает в себя инфограммы, графики, геоданные.

Пример такой системы управления представлен на рис. 1.

В рамках статьи подробно рассматривается внутренняя структура одного из элементов модуля обработки данных – системы поддержки принятия решений (СППР).

Автоматизированные СППР позволяют менеджерам – специалистам в управлении лесохозяйственным комплексом оперировать большим объемом информации, заложенной в базе данных (знаний), исследовать различные ситуации, выдавать прогнозные решения, что в обычном ручном операционном режиме делать достаточно трудоемко и неэффективно. СППР не исключает человека-специалиста из процесса, но, являясь эргатической системой, дает ему весь необходимый инструментарий для наиболее эффективного, оптимального и быстрого принятия решений. Важно правильно проанализировать текущую ситуацию и сопоставить её с определенным алгоритмом управления. Актуальность внедрения ситуационного управления определяется важностью своевременного изменения алгоритма управления с целью обеспечения требуемой результативности процесса функционирования системы. В системах поддержки принятия решений информация, выданная лицу, принимающему решение (ЛПР), может предопределить успешность всей операции. Соответственно, предлага-

емые СППР варианты действий должны быть определены текущей ситуацией и набором имеющихся ресурсов [Оркин и др., 2021].

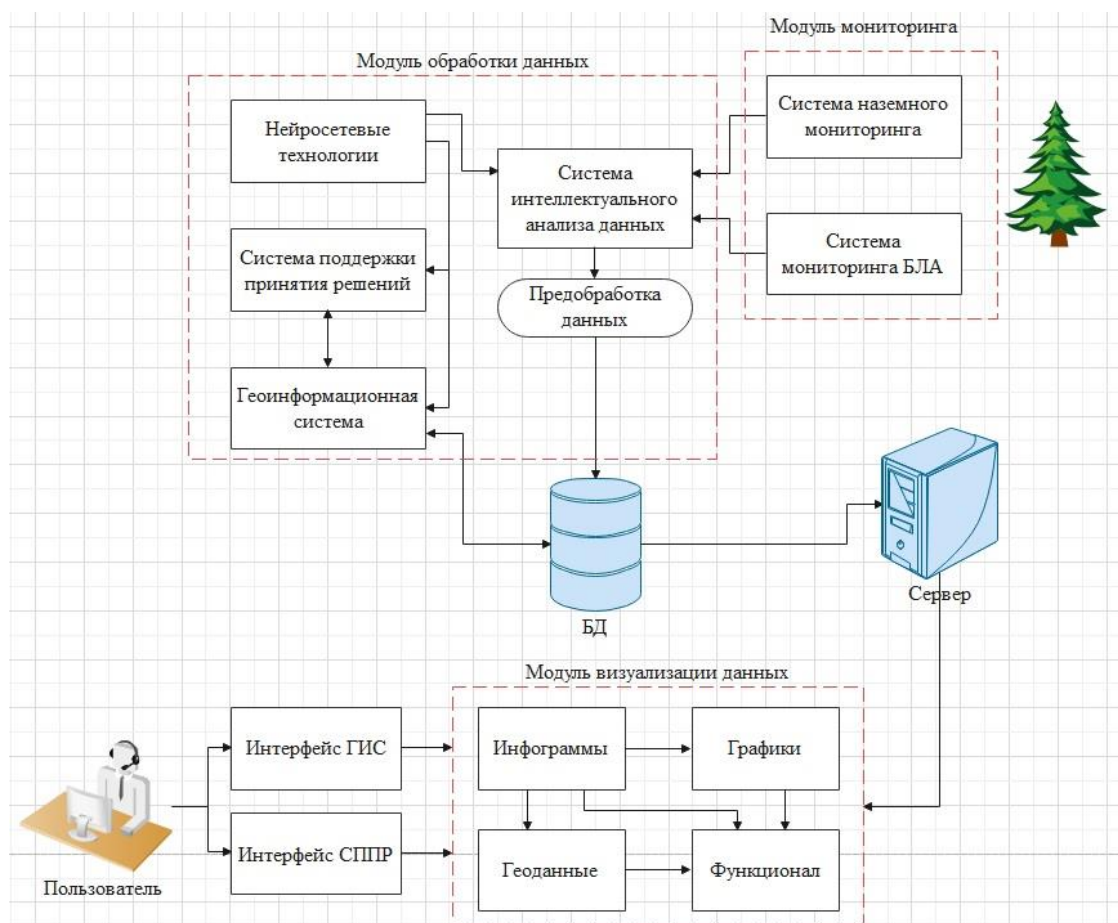


Рис. 1. Пример структуры системы управления лесохозяйственным комплексом  
Fig. 1. Example of the structure of the forestry complex management system

Одной из современных и активно используемых систем поддержки принятия решений в управлении лесным хозяйством является информационная система МОТТИ. В основе этого программного продукта лежит компьютерная модель развития древостоя, позволяющая рассчитывать рост деревьев при различных сценариях ведения лесного хозяйства. Программное обеспечение МОТТИ имеет финскую и английскую версию системы [Лукашик и др., 2018]. Подобных систем на рынке программного обеспечения достаточно много, но они не являются универсальными для применения в различных регионах. Так, указанная система относительно географии России может быть использована только в Северо-Западном Федеральном округе. Отечественных разработок по сравнению с зарубежными аналогами на рынке значительно меньше (например, можно выделить комплекс программ FORRUS-S, предназначенных для имитационного моделирования и анализа динамических процессов, протекающих в лесных массивах [Лукашик и др., 2019]). При явном запросе на автоматизацию различных процессов управления лесным комплексом, возрастающей государственной поддержке, большому опыту разработки систем поддержки принятия решений для различных отраслей можно сделать вывод о перспективности данных исследований и разработок.

Основные преимущества СППР в рамках рассматриваемой на рис. 1 структуры системы управления [Иванов и др., 2021]:

1. *Наличие базы данных (знаний)* (постоянно пополняющейся) наиболее эффективных стратегий развития лесного хозяйства, что позволяет сделать наиболее репрезентативную

выборку решений, удовлетворяющих как заявленному критерию оптимальности, так и ограничениям, в основном касающимся минимизации затрачиваемых ресурсов.

2. *Снижение фактора человеческой ошибки* за счет уменьшения субъективизма пользователя системы (ЛПР) – предполагается интеграция с объемной базой знаний, разработанной с привлечением экспертов, работающих в различных лесохозяйственных комплексах, а также системных аналитиков.

3. *Учет* не только внутренних рисков, но и внешних, а также последних изменений законодательства в лесном секторе на всех необходимых уровнях (федеральный, региональный, муниципальный), а также локальных нормативных актов компании.

4. *Возможность решения управленческих задач* по обозначенной проблематике в условиях неопределенности; инструментарий позволяет значительно снизить энтропию факторов, влияющих на принятие решений за счет интеллектуального анализа данных, полученных на основании системы мониторинга и подготовленных к дальнейшему анализу.

5. *Возможность быстрого реагирования* на возникновение нестандартных ситуаций – снижение времени на обработку поступающей информации.

6. *Повышение эффективности контроля* за исполнением решений.

Следует отдельно отметить типичные ошибки, которые совершаются ЛПР: ошибки планирования, наблюдения, выполнения, диагностики и взаимодействия с автоматизированной системой управления (АСУ) [Карелин, Береза, 2019]. Разрабатываемая система поддержки принятия решений предназначена, в том числе, для решения этих проблем.

### Результаты и их обсуждение

Возможность организации баз данных и баз знаний больших объемов позволяет использовать накопленную информацию при решении различных задач с учетом методов генерации решений, формирования системы критериев и выбора решений в рамках обозначенной предметной области – управления лесным хозяйством. Рассмотрим подробнее модель СППР.

Множество всех пользователей системы представимо в виде:

$$P = \{P_1, P_2, P_3, P_4\},$$

где  $P_1$  – эксперты по принятию решений,  $P_2$  – системные аналитики,  $P_3$  – лицо, принимающее решение,  $P_4$  – исследователи.

*БД* – база данных.

*БЗ* – база знаний.

*БМ* – база моделей: экономических, технических, технологических и т. д.

*БС* – база реализованных ранее стратегий на основе опыта различных лесохозяйств.

*БК* – база данных критериев, база знаний иерархий критериев и функций принадлежности.

*БА* – база данных с набором альтернатив, база знаний набора альтернатив.

*МППР* – методы поддержки принятия решений.

Критерий оптимальности может быть представлен системой и определен непосредственно ЛПР для каждого конкретного случая. Тогда оптимальному решению будет соответствовать:

$$F^{\text{опт}} = F(\bar{X}, Y) = \begin{cases} \max_{1 \leq i \leq m} \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \right) \text{ (Лапласа)} \\ \max_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij} \text{ (Вальда)} \\ \min_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} (a_{ij} - a_{ij}) \text{ (Сэвиджа)} \\ \max_{1 \leq i \leq m} [\alpha \max_{1 \leq j \leq n} a_{ij} + (1 - \alpha) \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij}] \text{ (Гурвица)} \end{cases},$$

где  $a_i$  – вектор управляемых параметров, определяющих свойства системы,  $i = \overline{1, m}$ ;  $p_j$  – вектор неуправляемых параметров, определяющих состояние обстановки,  $j = \overline{1, n}$ ;  $\alpha$  – коэффициент оптимизма,  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Множество информации, передаваемой между интерфейсом СППР и экспертным модулем СППР, представимо в виде:

$$I = \{I_1, I_2, I_3\},$$

где  $I_1$  – информация из БД, БЗ, БМ, БС;  $I_2$  – информация о проблеме от ЛПР;  $I_3$  – искомое решение (управляющее воздействие).

Таким образом, СППР можно представить в виде теоретико-множественной модели  $M$ :

$$M = \langle P, \text{БД, БЗ, БМ, БС, БК, БА, МППР, } I \rangle.$$

Структура СППР представлена на рис. 2.

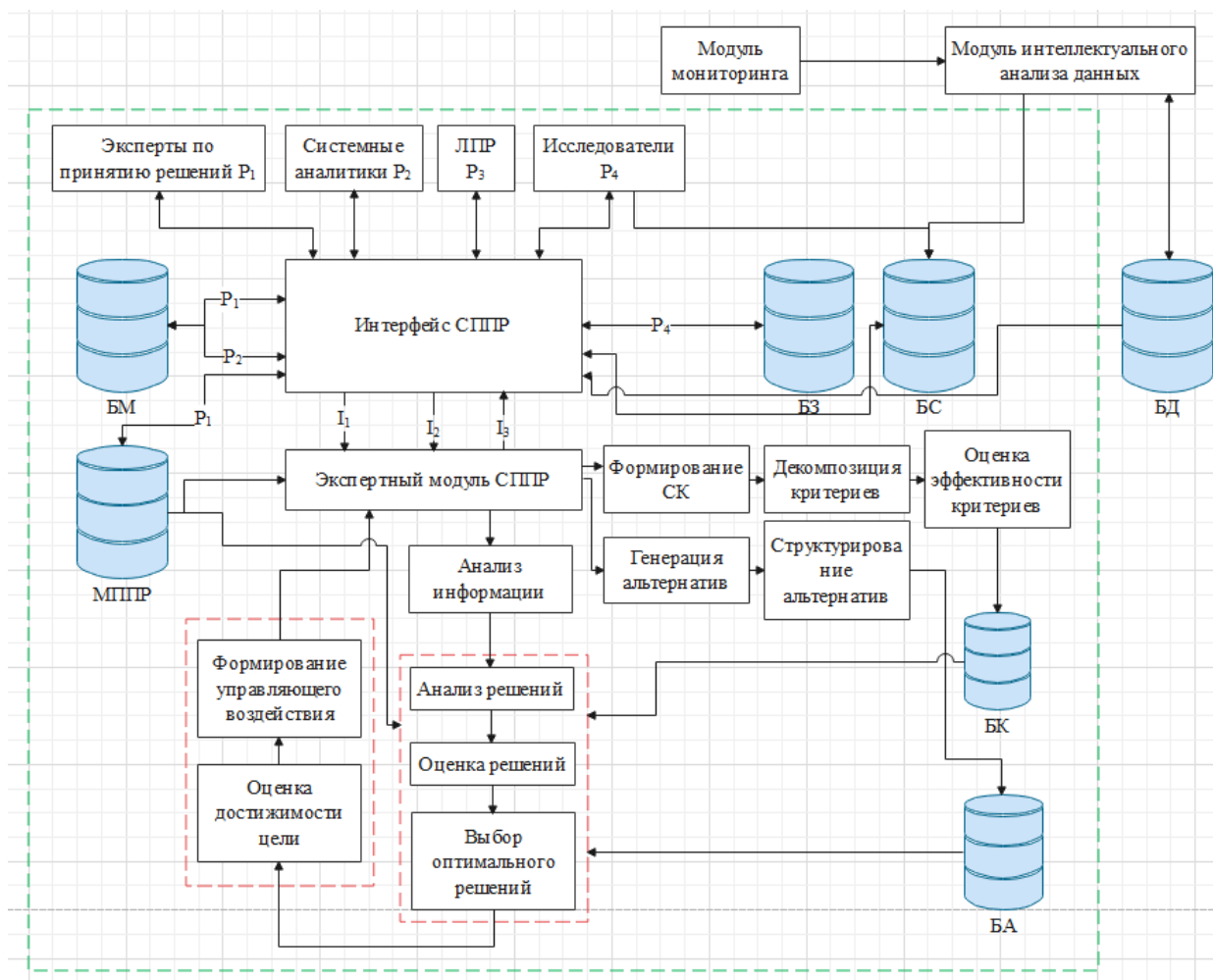


Рис. 2. Структура СППР  
 Fig. 2. The structure of the DSS

При формулировке и решении задач выбора управляющих воздействий в условиях неопределенности за основу предполагается взять концепцию системного (комплексного) моделирования, под которой понимается полимодельное многокритериальное описание и исследование заданной предметной области с использованием комбинированных методов, алгоритмов и методик, позволяющих на конструктивной основе обеспечить эффект взаимного усиления достоинств каждой из применяемых моделей [Чуваков, 2015].

Эксперты по принятию решений в области управления лесным хозяйством, системные аналитики, ЛПР, исследователи взаимодействуют с системой поддержки принятия решений через соответствующий интерфейс, получая доступ к соответствующему экспертному модулю СППР. В рамках модуля формируется система критериев, происходит их декомпозиция и оценка

эффективности, после чего формируется *БК*. На основе генерации и структурирования альтернатив разрабатывается *БА*. Комплексный паттерн «Анализ информации» включает в себя анализ решений, их оценку и выбор оптимального решения. В рамках экспертного модуля происходит оценка достижимости цели и формирование управляющего воздействия.

### Заключение

Таким образом, определено место системы поддержки принятия решений в общей структуре системы управления лесохозяйственным комплексом, предложены подходы к выбору оптимального решения в зависимости от предпочтений ЛПР и поставленной задачи, определены основные элементы СППР.

Разработка соответствующих методов и алгоритмов для представленной структуры, проектирование и последующая реализация информационной системы предполагаются в дальнейших исследованиях по данной проблематике. Также отдельное внимание должно быть уделено оценке эффективности внедрения системы поддержки принятия решений в ИТ-инфраструктуру лесохозяйственного комплекса по существующим методикам [Иванов, Квятковская, 2019].

### Список литературы

- Головачев С.А. Лесной комплекс многолесного региона как объект промышленно-торговой политики (на примере Хабаровского края). *Власть и управление на Востоке России*. 4(61): 158–164.
- Заикин А.Н., Сиваков В.В., Зеликов В.А. 2022. Программное обеспечение для управления лесохозяйственным и лесозаготовительным процессами: оценка применимости. *Лесотехнический журнал*. 1(45): 96–109.
- Иванов С.А. 2021. Элементы информационной поддержки принятия решений при управлении лесным хозяйством. Актуальные вопросы лесного хозяйства: материалы V международной молодежной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 11–12 ноября 2021 года. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. 138–141.
- Иванов С.А., Квятковская И.Ю. 2019. Использование методики оценки совокупной ценности (TVO) для определения эффективности системы поддержки принятия решений при выборе комплектующих для автоматизированной системы закрытого грунта. *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. 1(45): 110–117.
- Карелин А.Е., Береза А.Н. 2019. Экспертная система для поддержки принятия решений оператора в системе электроснабжения города. *Инженерный вестник Дона*. 4(55): 28.
- Кислухина И.А. Исследование государственной политики в сфере лесных отношений, сформировавшейся в результате принятия нового лесного кодекса РФ. *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. 2: 196–204.
- Лукашик Е.Е., Мальшев Д.О., Смирнов И.А. 2019. Компьютерная система поддержки принятия решений как инструмент экономической оценки рубок ухода за лесом. Наука, бизнес, власть – триада регионального развития: сборник статей IV международной научно-практической конференции, Великий Новгород, 05 апреля 2019 года. Великий Новгород: ГНИИ «Нацразвитие». 118–122.
- Лукашик Е.Е., Никонов М.В., Смирнов И.А. 2018. Возможности компьютерных систем поддержки принятия решений в лесном хозяйстве (на примере программного обеспечения metinfo – MOTTI stand simulator). Современные проблемы и инновационные технологии в лесном хозяйстве: Материалы научно-практической конференции, посвященной 20-летию лесного образования в НовГУ имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, 22–23 ноября 2018 года. – Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого.
- Маркова Н.С. 2017. Эффективность управления лесохозяйственной деятельностью в Курской области. *Российская наука и образование сегодня: проблемы и перспективы*. 5(18): 27–29.
- Оркин В.В., Нестеренко О.Е., Платонов С.А. 2021. Модель системы ситуационного управления в автоматизированной системе поддержки принятия решений. *Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму*. 1-2 (151-152): 40–45.





- Панов А.В., Сотникова Н.А., Карпенко Е.И. 2016. Разработка научных подходов к обеспечению экологической безопасности сельских территорий Калужской области, пострадавших от аварий на Чернобыльской АЭС, с использованием компьютерных систем поддержки принятия решений. Труды регионального конкурса проектов фундаментальных научных исследований. Калуга: Государственное автономное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Калужской области «Калужский государственный институт развития образования». 296–310.
- Попов С.С., Лагун И.В. 2020. Определение понятия государственной лесной политики как способ оптимизации управления лесного хозяйства. *Colloquium-Journal*. 4-5(57): 7–8.
- Резанов В.К., Резанов К.В. 2014. Типологические основы инвестиционной политики устойчивого развития лесного комплекса региона. *Вестник Тихоокеанского государственного университета*. 4(35): 209–216.
- Чуваков А.В. 2015. Концепция разработки информационной системы поддержки принятия решений при управлении сложными техническими системами. *Актуальные направления научных исследований: от теории к практике*. 3(5): 27–280.

### References

- Golovachev S.A. Lesnoj kompleks mnogolesnogo regiona kak objekt promyshlenno-torgovoj politiki (na primere Habarovskogo kraja) [The forest complex of a multi-forested region as an object of industrial and trade policy (on the example of the Khabarovsk Territory)]. *Vlast' i upravlenie na Vostoke Rossii* [Power and management in the East of Russia]. 4(61): 158–164.
- Zaikin A.N., Sivakov V.V., Zelikov V.A. 2022. Programmnoe obespechenie dlja upravlenija lesohozajstvennym i lesozagotovitel'nym processami: oценка primenimosti [Software for managing forestry and logging processes: assessment of applicability]. *Leso-tehnicheskij zhurnal* [Lesotechnical journal]. 1(45): 96–109.
- Ivanov S.A. 2021. Jelementy informacionnoj podderzhki prinjatija reshenij pri upravlenii lesnym hozjajstvom [Elements of information support for decision-making in forestry management]. *Aktual'nye voprosy lesnogo hozjajstva: materialy V mezhduna-rodnoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Sankt-Peterburg, 11–12 nojabrja 2021 goda. Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj lesotehnicheskij universitet imeni S.M. Kirova* [Topical issues of forestry: materials of the V International Youth Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, November 11–12, 2021. St. Petersburg State Forest Engineering University named after S.M. Kirov]. 138–141.
- Ivanov S.A., Kvjatkovskaja I.Ju. 2019. Ispol'zovanie metodiki ocenki sovokupnoj cennosti (TVO) dlja opredelenija jeffektivnosti sistemy podderzhki prinjatija reshenij pri vybore komplektujushhih dlja avtomatizirovannoj sistemy zakrytogo grunta [Using the Total Value Estimation (TVO) Methodology to Determine the Effectiveness of a Decision Support System in the Selection of Components for an Automated Covered Ground System]. *Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tehnologii* [Prikaspiian journal: management and high technologies]. 1(45): 110–117.
- Karelin A.E., Bereza A.N. 2019. Jekspertnaja sistema dlja podderzhki prinjatija reshenij operatora v sisteme jelektrosnabzhenija goroda [Expert system for decision support of the operator in the power supply system of the city]. *Inzhenernyj vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don]. 4(55): 28.
- Kisluhina I.A. Issledovanie gosudarstvennoj politiki v sfere lesnyh otnoshenij, sformirovavshejsja v rezul'tate prinjatija novogo lesnogo kodeksa RF [Study of the state policy in the field of forest relations, formed as a result of the adoption of the new forest code of the Russian Federation]. *Vestnik Moskov-skogo gosudarstvennogo universiteta lesa - Lesnoj vestnik* [Bulletin of the Moscow State Forest University - Forest Bulletin]. 2: 196–204.
- Lukashik E.E., Malyshev D.O., Smirnov I.A. 2019. Komp'juternaja sistema podderzhki prinjatija reshenij kak instrument jekonomicheskoj ocenki rubok uhoda za lesom [Computer decision support system as a tool for economic assessment of forest care felling]. *Nauka, biznes, vlast' - triada regional'nogo razvitija: sbornik statej IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Velikij Novgorod, 05 aprelja 2019 goda. Velikij Novgorod: GNII «Nacrazvitie»* [Science, business, power - a triad of regional development: collection of articles of the IV international scientific and practical conference, Veliky Novgorod, April 05, 2019. - Veliky Novgorod: GNII «National Development»]. 118–122.
- Lukashik E.E., Nikonov M.V., Smirnov I.A. 2018. Vozmozhnosti komp'juternyh sistem podderzhki prinjatija reshenij v lesnom hozjajstve (na primere programmno obespechenija metinfo - MOTTI

stand simulator) [Possibilities of computer decision support systems in forestry (on the example of software metinfo - MOTTI stand simulator)]. *Sovremennye problemy i innovacionnye tehnologii v lesnom hozjajstve: Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 20-letiju lesnogo obrazovanija v NovGU imeni Jaroslava Mudrogo, Velikij Novgorod, 22–23 nojabrja 2018 goda.* – Velikij Novgorod: Novgorodskij gosudarstvennyj uni-versitet imeni Jaroslava Mudrogo [Modern problems and innovative technologies in forestry: Proceedings of the scientific and practical conference dedicated to the 20th anniversary of forest education at Yaroslav the Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, November 22–23, 2018. – Veliky Novgorod: Novgorod State University named after Yaroslav the Wise].

- Markova N.S. 2017. *Jeftektivnost' upravlenija lesohozjajstvennoj dejatel'nost'ju v Kurskoj oblasti* [Efficiency of management of forestry activities in the Kursk region]. *Rossijskaja nauka i obrazovanie segodnja: problemy i perspektivy* [Russian science and education today: problems and prospects]. 5(18): 27–29.
- Orkin V.V., Nesterenko O.E., Platonov S.A. 2021. *Model' sistemy situacionnogo upravlenija v avtomatizirovannoj sisteme podderzhki prinjatija reshenij* [Model of a situational control system in an automated decision support system]. *Voprosy oboron-noj tehniki. Serija 16: Tehniceskie sredstva protivodejstvija terrorizmu* [Voprosy oboronnoi tekhniki. Series 16: Technical means of countering terrorism]. 1–2 (151–152): 40–45.
- Panov A.V., Sotnikova N.A., Karpenko E.I. 2016. *Razrabotka nauchnyh podhodov k obespečeniju jekologicheskoj bezopasnosti sel'skih territorij Kaluzhskoj oblasti, postradavshih ot avarij na Chernobyl'skoj AJeS, s ispol'zovaniem komp'juternyh sistem podderzhki prinjatija reshenij. Trudy regional'nogo konkursa proektov fundamental'nyh nauchnyh issledovanij. Kaluga: Gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie dopolnitel'nogo professional'nogo obrazovanija Kaluzhskoj oblasti «Kaluzhskij gosudarstvennyj institut razvitija obrazovanija»* [Proceedings of the regional competition of projects of fundamental scientific research. Kaluga: State Autonomous Educational Institution of Additional Professional Education of the Kaluga Region «Kaluga State Institute for the Development of Education»]. 296–310.
- Popov S.S., Lagun I.V. 2020. *Opređenje ponjatija gosudarstvennoj lesnoj politiki kak sposob optimizacii upravlenija lesnogo hozjajstva* [Definition of the concept of state forest policy as a way to optimize forestry management]. *Colloquium-Journal*. 4–5(57): 7–8.
- Rezanov V.K., Rezanov K.V. 2014. *Tipologičeskie osnovy investicionnoj politiki ustojchivogo razvitija lesnogo kompleksa regiona* [Typological foundations of the investment policy of sustainable development of the forest complex of the region]. *Vestnik Tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Pacific State University]. 4(35): 209–216.
- Chuvakov A.V. 2015. *Koncepcija razrabotki informacionnoj sistemy podderzhki prinjatija reshenij pri upravlenii slozhnymi tehničeskimi sistemami* [The concept of developing an information system for decision support in the management of complex technical systems]. *Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij: ot teorii k praktike* [Actual directions of scientific research: from theory to practice]. 3(5): 27–280.

**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

**Иванов Сергей Александрович**, доцент кафедры информационных систем и технологий, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, доцент кафедры информационных технологий и математики, Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики, г. Санкт-Петербург, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Sergey A. Ivanov**, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, Saint-Petersburg State Forest Technical University, Associate Professor of the Department of Information Technology and Mathematics, Saint Petersburg University of Management Technologies and Economics, St. Petersburg, Russia



УДК 004.89

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-566-574

## **Использование онтологического подхода для извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ**

**Афанасьев А.А., Кудинов В.А.**

Курский государственный университет,  
Россия, 305000, Курская область, г. Курск, ул. Радищева, д. 33  
E-mail: afanasyevkursk@gmail.com, kudinovva@yandex.ru

**Аннотация.** Важную роль в процессах интеллектуального анализа данных, построения корпоративных хранилищ данных и разработки информационно-аналитических систем играет качество данных. Статья посвящена постановке и обоснованию актуальности проблемы извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ. Несмотря на многочисленность публикаций, посвященных проблеме извлечения экспертных знаний, в области качества данных (Data quality) и управления данными в целом (Data governance) данная проблема слабо развита. Целью исследования является определение возможности расширения существующей проблемы извлечения экспертных знаний предлагаемой для дальнейших исследований проблемой извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ, а также разработка онтологической модели извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ. Исследование проводилось на основе онтологического подхода. В результате исследования была обоснована необходимость централизованного сбора требований к качеству данных организации, поставлена проблема извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ путем расширения существующей проблемы извлечения экспертных знаний, а также разработана онтологическая модель извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ.

**Ключевые слова:** онтология предприятия, онтологическое моделирование, экспертные системы, проблема извлечения знаний, качество данных

**Для цитирования:** Афанасьев А.А., Кудинов В.А. 2022. Использование онтологического подхода для извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ. Экономика. Информатика, 49(3): 566–574. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-566-574

---

## **Using an Ontological Approach to Extract Expectations About the Data Quality of Enterprise Data Warehouses**

**Alexander A. Afanasiev, Vitaly A. Kudinov**

Kursk State University  
33 Radishcheva St, Kursk, Kursk region, 305000, Russia  
E-mail: afanasyevkursk@gmail.com, kudinovva@yandex.ru

**Abstract.** An important role in the processes of data mining, building corporate data warehouses and developing information and analytical systems is played by data quality. The article is devoted to the formulation and substantiation of the relevance of the problem of extracting expectations for the quality of corporate storage data. Despite the numerous publications devoted to the problem of extracting expert knowledge, in the field of data quality (Data quality) and data governance in general (Data governance), this problem is underdeveloped. The aim of the study is to determine the possibility of expanding the existing problem of extracting expert knowledge by the problem of extracting expectations for the quality of data of corporate storages, proposed for further research, as well as developing an ontological model for extracting expectations for the quality of data of corporate storages. The study was carried out on the basis of the ontological approach. As a result of the study, the need for a centralized collection of requirements for the

quality of data of an organization was substantiated, the problem of extracting expectations for the quality of data of corporate storages was posed by expanding the existing problem of extracting expert knowledge, and an ontological model for extracting expectations for the quality of data of corporate storages was developed.

**Keywords:** enterprise ontology, ontological modeling, expert systems, knowledge extraction problem, data quality

**For citation:** Afanasiev A.A., Kudinov V.A. 2022. Using an Ontological Approach to Extract Expectations About the Data Quality of Enterprise Data Warehouses. Economics. Information technologies, 49(3): 566–574 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-566-574

## Введение

На сегодняшний день одним из активно развивающихся направлений деятельности предприятий является цифровизация. Цифровизация сфер деятельности предприятий ведет к увеличению количества используемых информационных систем, их развитию и усложнению, что способствует увеличению массивов хранимой информации. Этот факт ставит перед предприятиями задачу по управлению качеством данных в корпоративных хранилищах, для выполнения которой необходимо сформировать понимание о том, какие данные следует считать качественными.

Целью исследования является определение возможности расширения существующей проблемы извлечения экспертных знаний предлагаемой для дальнейших исследований проблемой извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ, а также разработка онтологической модели извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ.

Для достижения цели исследования необходимо выполнить следующие задачи:

1. Установить место и роль качества данных в аналитических методологиях и процессах интеллектуального анализа данных;
2. Установить место и роль качества данных при построении корпоративных хранилищ данных и разработке информационно-аналитических систем;
3. Обосновать необходимость централизованного сбора требований к качеству данных организации;
4. Определить возможность расширения существующей проблемы извлечения экспертных знаний предлагаемой для дальнейших исследований проблемой извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ;
5. Разработать онтологическую модель извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ.

Новизна проведенного исследования состоит в обосновании актуальности проблемы извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ и ее постановке с помощью расширения существующей проблемы извлечения экспертных знаний.

Теоретическое применение полученных результатов состоит в установлении места и роли качества данных в аналитических методологиях и процессах интеллектуального анализа данных, а также при построении корпоративных хранилищ данных и разработке информационно-аналитических систем, и обоснованию акцента именно на извлечении знаний как процессе выявления знаний, когда источником информации являются эксперты в проблемной области, а в качестве методов извлечения знаний рассматривать в первую очередь активные индивидуальные и групповые методы.

Практическое применение полученных результатов состоит в возможности использования разработанной онтологической модели извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ для построения онтологической модели данных, с помощью которой проектируются базы знаний и базы данных.



## **Место и роль качества данных в корпоративном управлении данными и их анализе**

Выявлению проблем с качеством данных уделяется внимание в методологиях интеллектуального анализа данных: KDD (шаг «Очистка данных и предварительная обработка») [Fayyad, Piatetsky-Shapiro, Smyth, 1996] и CRISP-DM (фаза «Понимание данных») [Chapman, Clinton, Kerber, Khabaza, Reinartz, Shearer, Wirth, 2000]. Также вопросы качества данных рассматриваются в таких методологиях, как CASP-DM (фаза «Понимание данных», задача «Проверить качество данных») [Martinez-Plumed, Ochando, Ferri, Flach, Hernandez-Orallo, Kull, Lachiche, Ramirez-Quintana, 2017], ASUM-DM (фаза «Анализ-Проектирование-Настройка и Сборка», активность «Подготовка данных», задача «Очистить данные») [IBM Analytics Solutions Unified Method (ASUM)], RAMSYS (фаза «Понимание данных», задача «Проверка качества данных») [Moyle, Jorge, 2001], которые усовершенствовали выделенные в CRISP-DM фазы интеллектуального анализа данных [Martinez-Plumed et al. 2021].

Исследователи обращают внимание на важность работ в области качества данных при построении корпоративных хранилищ данных [Килимова, 2022], разработке информационно-аналитических систем [Любицын, 2012]. А. Д. Килимова утверждает, что особую роль в мониторинге больших данных играет оценка и поддержание их качества, так как именно эта задача влияет на достоверность и корректность этих данных, следовательно, и на качество принимаемых на их основе управленческих решений [Килимова, 2022]. Так, В.Н. Любицын утверждал, что обеспечение требуемого качества данных, используемых в информационно-аналитической системе (ИАС) любого вида и назначения, почти всегда является одной из ключевых проблем создания подобной системы [Любицын, 2012].

В общем виде важность определения качества данных в корпоративном управлении данными и их анализе обуславливается принципом в информатике GIGO (garbage in – garbage out). Принцип «мусор на входе – мусор на выходе» основан на выводе, что хорошие входные данные обычно приводят к хорошим выходным результатам, и плохие входные данные приводят к плохим результатам на выходе. Хотя концепция «мусор на входе – мусор на выходе» была известна во времена Чарльза Беббиджа (1864) и даже раньше, первым этот термин ввел Джордж Фьючел, программист, использовавший GIGO как обучающий метод в конце 1950-х годов [Лидвелл, Холден, Батлер, 2021]. Этот термин чаще всего используется в контексте разработки алгоритмов и программного обеспечения, но на сегодняшний день он актуален и при корпоративном управлении данными (Data Governance) и их анализе (Data Mining, Business intelligence), так как в исследовании, сделанном KPMG в 2019 году, было отмечено, что 69 % опрошенных руководителей крупнейших российских компаний из ключевых отраслей экономики планируют внедрить в ближайшие два года технологии на основе анализа больших данных (big data) и предиктивной аналитики [Цифровые технологии в российских компаниях, 2019]. Так, использование некачественных данных при их анализе (garbage in) может привести к ошибочным результатам анализа (garbage out), что в дальнейшем станет причиной принятия неверных управленческих решений.

### **Обоснование необходимости централизованного сбора требований к качеству данных организации**

На сегодняшний день измерения (в других источниках критерии, параметры) качества данных довольно хорошо изучены. Одним из наиболее популярных источников методической информации в области управления и в частности качества данных является Data Management Body of Knowledge [DAMA-DMBOK, 2020] от международной организации DAMA International, которая изучает вопросы в области управления данными. Другим источником, в котором уделяется внимание к качеству данных промышленных предприятий, является Международные рекомендации по статистике промышленности ООН [Международные рекомендации по статистике промышленности, 2010]. В 2019 году Аналитический центр при Правительстве РФ презентовал собственную методику оценки и повышения каче-

ства данных [Методология оценки и повышения качества данных, 2019] в рамках национальной программы «Цифровая экономика». Также существует методическая документация отраслевых ассоциаций, изучающих организацию управления данными в конкретной отрасли экономики. Например, в нефтяной промышленности такой организацией является Professional Petroleum Data Management (PPDM) Association [Data Rules Program Strategy: International Petroleum Data Standards, 2018].

На рисунке 1 демонстрируется, что в изученных методологиях находятся общие измерения качества данных. Тем не менее, несмотря на разработанность измерений качества данных, актуальны вопросы реализации проверок на соответствие конкретных данных измерениям: какие данные требуют проверки, как сформулировать задачу проверки для инженера-разработчика, как отображать результаты проверок качества данных потребителю данных, заинтересованному в их качестве.

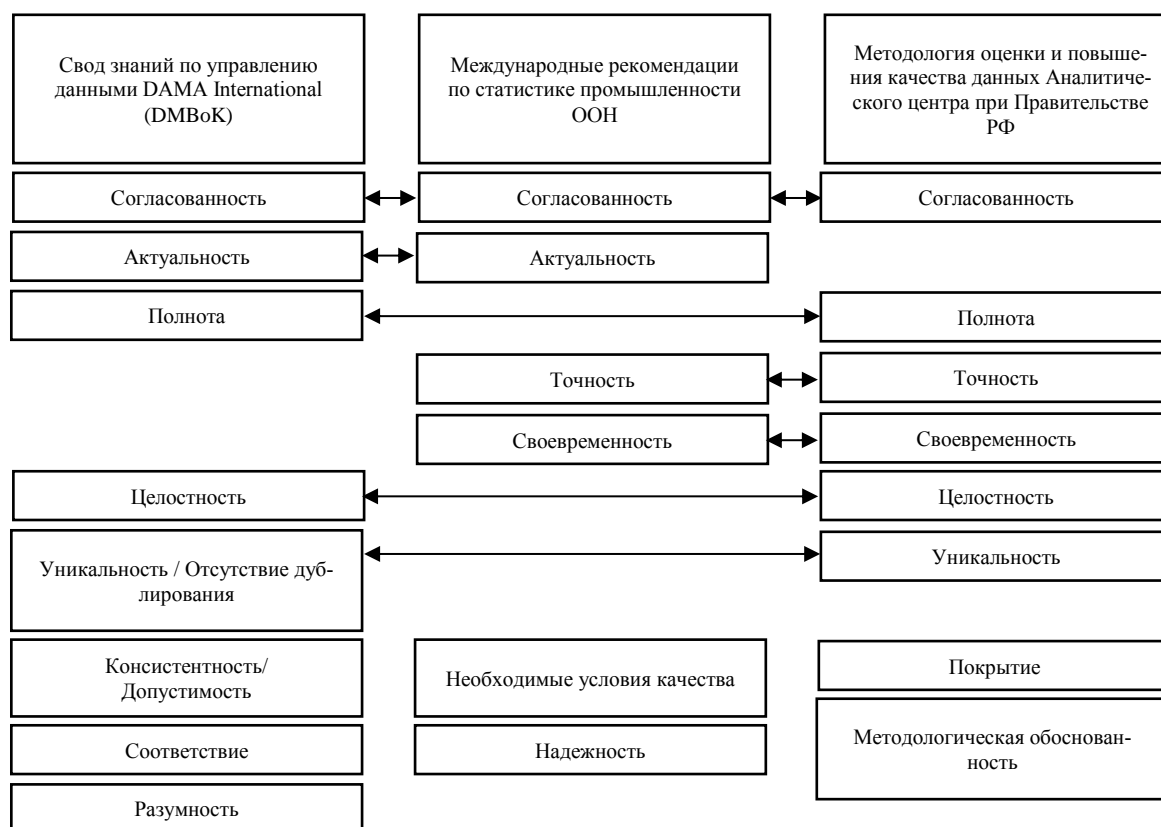


Рис. 1. Измерения (критерии, параметры) качества данных в стандартах и методологических источниках

Fig. 1. Measurements (criteria, parameters) of data quality in standards and methodological sources

В.Н. Любицын [Любицын, 2012] отмечает, что набор факторов, влияющих на качество данных, весьма разнообразен и может в процессе эксплуатации информационно-аналитических систем меняться. Поэтому, по его мнению, формированию и систематической модификации методики оценки качества, используемой для анализа данных, необходимо уделять большое внимание, поскольку именно она является основной для выбора места и технологии доведения качества данных до требуемого в конкретной ситуации уровня.

Давид Лошин [Loshin, 2010] утверждал, что изучение существующей документации дает только статическую картину того, что может быть (а может и не быть) верным в отношении состояния среды данных. Более полную картину можно составить, собрав то, что может считаться «веским доказательством», от ключевых лиц, связанных с бизнес-процессами, использующими данные. Поэтому на следующем этапе предложенного им процесса анализа требований к данным проводится интервью с ранее определенными ключевыми заинтересо-



ванными сторонами, отмечаются их критические области, вызывающие обеспокоенность, и обобщаются эти опасения, чтобы выявить пробелы, которые необходимо заполнить в форме требований к данным.

Данные мнения в том числе подтверждают и сложность формирования требований к качеству данных от потребителей данных, использующих их в рамках своих направлений профессиональной деятельности, так и необходимость использовать активные индивидуальные и групповые методы извлечения знаний, например, интервьюирование.

Таким образом, одной из первых актуальных задач процесса управления качеством данных является сбор требований к качеству данных организации. Согласно ГОСТ Р ИСО 8000-2-2019, под требованием к качеству данных понимается потребность или ожидание, которое установлено, предполагается или является обязательным, а под качеством данных понимается степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям [ГОСТ Р ИСО 8000-2-2019, 2019]. Выполнение этой задачи позволит определить ожидания сотрудников организации, которым должны соответствовать данные.

Подобное мнение высказывает А. Д. Килимова: «Необходимо централизовать процесс управления качеством данных и создать главный его документ – реестр требований к данным (так называемый мастер данных), поскольку эта информация становится нужной всем системам» [Килимова, 2022].

Для выполнения этой задачи необходимо разработать инструмент извлечения знаний в области качества данных в корпоративных хранилищах. Организации, использующие для работы с данными корпоративные хранилища, как правило, характеризуются большими объемами данных и множеством сотрудников, заинтересованных в их качестве. Инструментом сбора, хранения и анализа ожиданий к качеству данных может стать экспертная информационная система, адаптированная для этой области.

### Результаты и их обсуждение

Проблема извлечения экспертных знаний была поставлена в конце 1970-х годов в процессе разработки первых экспертных систем. Так, Э.А. Фейгенбаум утверждал: «Поскольку сила экспертных систем заключается в их базах знаний, успешное применение ИИ требует, чтобы знания переместились из голов экспертов в программы.» [Feigenbaum, 1980]. Среди отечественных исследователей проблеме посвящали свои труды О.И. Ларичев и В.К. Моргоев, давшие анализ проблем приобретения и извлечения экспертных знаний [Ларичев, Моргоев, 1991], Т.А. Гаврилова и К.Р. Червинская, которые классифицировали методы извлечения знаний [Гаврилова, Червинская, 1992].

В рамках исследования предлагается расширить существующую проблему извлечения экспертных знаний проблемой извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ.

При этом планируется сделать акцент именно на извлечении знаний как процессе выявления знаний, когда источником информации являются эксперты в проблемной области [Ларичев, Моргоев, 1991], а в качестве методов извлечения знаний рассматривать в первую очередь активные индивидуальные и групповые методы [Гаврилова, Червинская, 1992]. Это обусловлено следующими причинами:

1. Согласно ГОСТ Р ИСО 8000-2-2019, под требованием к качеству данных понимается потребность или ожидание, которое установлено, предполагается или является обязательным, а под качеством данных понимается степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям [ГОСТ Р ИСО 8000-2-2019, 2019];

2. Согласно DAMA-DMBOK данные можно считать высококачественными в той мере, в которой они соответствуют потребностям и ожиданиям потребителей. То есть данные обладают высоким или низким качеством, если они, соответственно, пригодны или непригодны к использованию по назначению. Следовательно, качество данных зависит от контекста и потребностей потребителей данных [DAMA-DMBOK, 2020];

3. Согласно DAMA-DMBOK для того, чтобы данные были надежными и достоверными, профессионалам в области управления данными нужно сделать всё возможное для наилучшего понимания требований клиентов к качеству данных и способов измерения степени соответствия данных этим требованиям. И делаться это должно в режиме постоянного обсуждения, поскольку требования к данным и качеству данных меняются не менее динамично, чем потребности и приоритеты бизнеса, зависящие, в свою очередь, от не менее переменчивых внешних сил и условий [DAMA-DMBOK, 2020].

4. Практический опыт профессиональной деятельности в сфере поддержки качества данных показывает, что часто через определение качества данных корпоративных хранилищ в организациях стремятся определять качество выполнения бизнес-процессов, что повышает роль экспертов, владеющих знаниями об этих бизнес-процессах, как источника ожиданий к качеству данных.

С целью проработки предложенной проблемы исследования была разработана онтологическая модель извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ (рис. 2).

Онтологические модели используются для обеспечения поддержки деятельности по накоплению, совместному использованию и повторному использованию знаний [Загоруйко, Загоруйко, 2016].

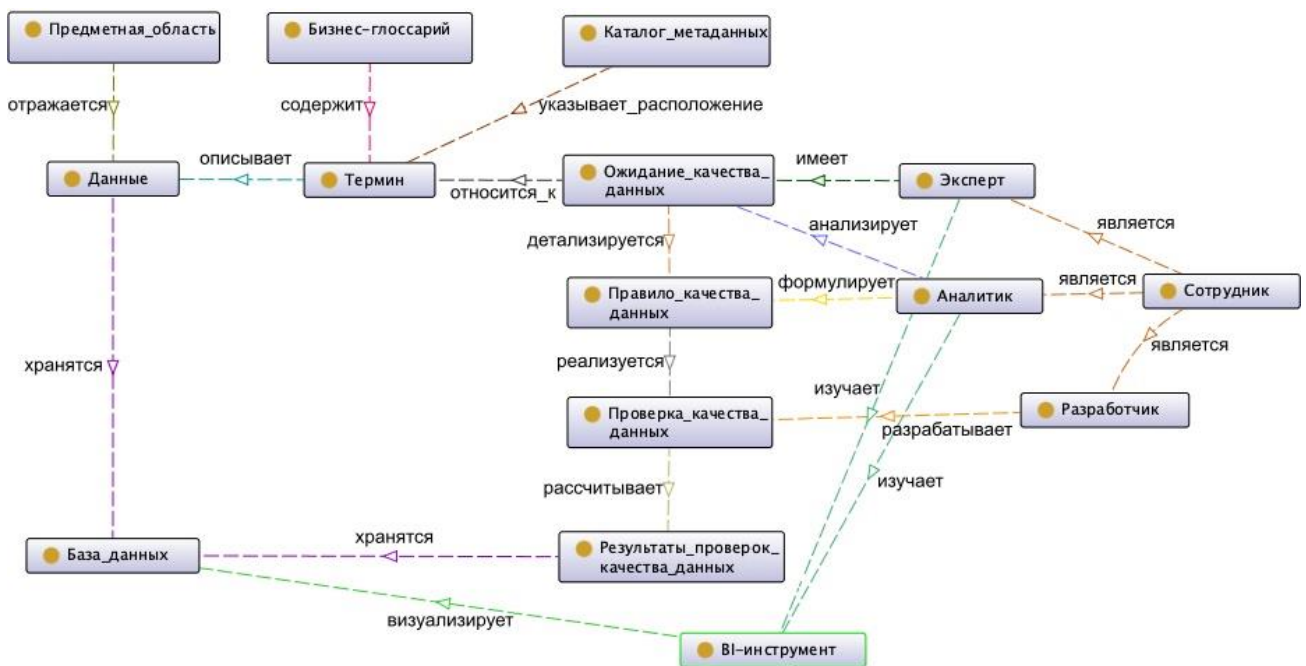


Рис. 2. Онтология извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ  
Fig. 2. Ontology of extraction of expectations about data quality of enterprise warehouses

Представленная онтологическая модель описывает процесс извлечения (триплеты <Эксперт, имеет, Ожидание качества данных> и <Аналитик, анализирует, Ожидание качества данных>) и последующей обработки экспертных знаний – ожиданий к качеству данных.

Поскольку качество данных является частью Платформы управления данными (по DAMA-DMBOK2) [DAMA-DMBOK:..., 2020], при разработке онтологической модели были учтены такие сущности управления данными, как Бизнес-гlossарий и Каталог метаданных. Ожидание качества данных относится к терминам, содержащимся в Бизнес-гlossарии с указанием их расположения в базах данных (согласно Каталогу метаданных).

Данную онтологическую модель можно использовать при построении инфологической модели данных, с помощью которой проектируются базы знаний и базы данных.





## Заключение

Таким образом, проведенное исследование указывает на существующее внимание к вопросам качества данных в методологиях интеллектуального анализа данных, а также при построении корпоративных хранилищ данных, разработке информационно-аналитических систем. В процессе исследования проведено обоснование необходимости централизованного сбора требований к качеству данных организации, так как существуют сложности при формировании требований к качеству данных от потребителей данных и необходимость использования активных индивидуальных и групповых методов извлечения знаний, например, интервьюирования.

В процессе исследования поставлена проблема извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ путем расширения существующей проблемы извлечения экспертных знаний, а также разработана онтологическая модель извлечения ожиданий к качеству данных корпоративных хранилищ.

## Список источников

- Гаврилова Т.А., Червинская К.Р. 1992. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем / Т. А. Гаврилова, К. Р. Червинская. М.: Радио и связь, 1992. 199 с.: ил.; 22 см.
- ГОСТ Р ИСО 8000-2-2019: Национальный стандарт Российской Федерации. Качество данных. Часть 2. Словарь [Электронный ресурс]. Стандартинформ. – Электронные данные. – Электронный текст документа подготовлен АО «Кодекс» и сверен по: М.: Стандартинформ, 2019. – режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200169126> (дата обращения: 15.05.2022).
- Загоруйко Ю.А., Загоруйко Г.Б. 2016. Инженерия знаний: учебное пособие. [Электронный ресурс] / Ю.А. Загоруйко, Г.Б. Загоруйко; Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2016. 93 с. Режим доступа: <http://e-lib.nsu.ru/dsweb/Get/Resource-1052/page001.pdf>
- Лидвелл У., Холден К., Батлер Дж. 2021. Универсальные принципы дизайна. Пер. А. Мороз. СПб.: Питер, 2021. 272 с.: ил.
- Международные рекомендации по статистике промышленности. 2010. [Электронный ресурс] Организация Объединенных Наций. Серия «Статистические документы». – Электронные данные. – Нью-Йорк: Издательство Организации Объединенных Наций, 2010. Режим доступа: <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210563826/read> (дата обращения: 05.11.2021).
- Методология оценки и повышения качества данных. 2019. [Электронный ресурс] Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. – Электронные данные. – Режим доступа: [https://digital.ac.gov.ru/upload/iblock/215/%D0%9A%D0%B0%D1%87%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%20%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85%20\\_f.pdf](https://digital.ac.gov.ru/upload/iblock/215/%D0%9A%D0%B0%D1%87%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%20%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85%20_f.pdf) (дата обращения: 05.11.2021).
- Цифровые технологии в российских компаниях. 2019. [Электронный ресурс] Результаты исследования КПМГ. Режим доступа: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ru/pdf/2019/01/ru-ru-digital-technologies-in-russian-companies.pdf> (Дата обращения: 21.04.2022)
- DAMA-DMBOK: Свод знаний по управлению данными. Второе издание. 2020. Dama International [пер. с англ. Г. Агафонова]. М.: Олимп-Бизнес, 2020. 828 с.: ил.
- Data Rules Program Strategy: International Petroleum Data Standards. 2018. [Электронный ресурс] The Professional Petroleum Data Management (PPDM) Association. – Электронные данные. – Калгари: Ассоциация профессионального управления нефтяными данными (PPDM), 2018. – Режим доступа: <https://dl.ppdm.org/dl/2263> (дата обращения: 07.11.2021).
- IBM Analytics Solutions Unified Method (ASUM) [Электронный ресурс] / IBM Analytics. Режим доступа: [http://gforge.icesi.edu.co/ASUM-DM\\_External/index.htm#cognos.external.asum-DM\\_Teaser/tasks/sps\\_clean\\_data\\_F9A96B23.html?proc=\\_0eKIHlt6EeW\\_y7k3h2HTng&path=\\_0eKIHlt6EeW\\_y7k3h2HTng,\\_0eHEyVt6EeW\\_y7k3h2HTng,\\_0eIS8Vt6EeW\\_y7k3h2HTng,\\_0eIS51t6EeW\\_y7k3h2HTng](http://gforge.icesi.edu.co/ASUM-DM_External/index.htm#cognos.external.asum-DM_Teaser/tasks/sps_clean_data_F9A96B23.html?proc=_0eKIHlt6EeW_y7k3h2HTng&path=_0eKIHlt6EeW_y7k3h2HTng,_0eHEyVt6EeW_y7k3h2HTng,_0eIS8Vt6EeW_y7k3h2HTng,_0eIS51t6EeW_y7k3h2HTng) (Дата обращения: 22.04.2022)
- Loshin David. 2010. The Practitioner's Guide to Data Quality Improvement (1st. ed.). Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.

### Список литературы

- Килимова А.Д. 2022. Потоки данных в легкой промышленности. Компетентность. № 3. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/potoki-dannyh-v-legkoy-promyshlennosti> (дата обращения: 11.05.2022).
- Ларичев О.И., Моргоев В.К. 1991. Проблемы, методы и системы извлечения экспертных знаний. Автомат. и телемех., выпуск 6, 3–27. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mathnet.ru/links/15765250a80252d52d362d9091115564/at4189.pdf> (дата обращения: 04.07.2022).
- Любицын В.Н. 2012. Повышение качества данных в контексте современных аналитических технологий. Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. № 23. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-kachestva-dannyh-v-kontekste-sovremennyh-analiticheskikh-tehnologiy> (дата обращения: 11.05.2022).
- Chapman P., Clinton J., Kerber R., Khabaza T., Reinartz T., Shearer C., Wirth R. 2000. CRISP-DM 1.0 step-by-step data mining guide. SPSS, 2000, 78 p.
- Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P. 1996. "The kdd process for extracting useful knowledge from volumes of data," Commun. ACM, Nov. 1996. 39(11): 27–34.
- Feigenbaum E. 1980. Knowledge engineering: the applied side of artificial intelligence. Computer Science Department of Stanford University. Stanford, [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://stacks.stanford.edu/file/druid:cn981xh0967/cn981xh0967.pdf> (дата обращения: 04.07.2022).
- Martínez-Plumed F. et al. 2021. "CRISP-DM Twenty Years Later: From Data Mining Processes to Data Science Trajectories," in IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 33(8): 3048-3061, 1 Aug. 2021, doi: 10.1109/TKDE.2019.2962680.
- Martinez-Plumed F., Ochando L.C., Ferri C., Flach P. A., Hernandez-Orallo J., Kull M., Lachiche N., Ramirez-Quintana M. J. 2017. "CASP-DM: context aware standard process for data mining," CoRR, vol. abs/1709.09003, 2017. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1709.09003>
- Moyle S., Jorge A. 2001. "Ramsys-a methodology for supporting rapid remote collaborative data mining projects," in ECML/PKDD 2001 Workshop on Integrating Aspects of Data Mining, Decision Support and Meta-Learning: Internal SolEuNet Session, 2001, 20–31.

### References

- Kilimova A.D. 2022. Data flows in light industry. Competence. №3 (in Russian). [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/potoki-dannyh-v-legkoy-promyshlennosti> (date of access: 11.05.2022).
- Larichev O. I., Morgoev V. K. 1991. Problems, methods and systems for extracting expert knowledge. Avtomat. i telemekh., issue 6, 3–27 (in Russian). [Electronic resource]. URL: <http://www.mathnet.ru/links/15765250a80252d52d362d9091115564/at4189.pdf> (accessed 04.07.2022).
- Lyubitsyn V.N. 2012. Improving the quality of data in the context of modern analytical technologies. Vestnik SUSU. Series: Computer technologies, control, radio electronics. No. 23 (in Russian). [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-kachestva-dannyh-v-kontekste-sovremennyh-analiticheskikh-tehnologiy> (date of access: 11.05.2022).
- Chapman P., Clinton J., Kerber R., Khabaza T., Reinartz T., Shearer C., Wirth R. 2000. CRISP-DM 1.0 step-by-step data mining guide. SPSS, 2000, 78 p.
- Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P. 1996. "The kdd process for extracting useful knowledge from volumes of data," Commun. ACM, Nov. 1996. 39(11): 27–34.
- Feigenbaum E. 1980. Knowledge engineering: the applied side of artificial intelligence. Computer Science Department of Stanford University. Stanford, [Electronic resource]. URL: <https://stacks.stanford.edu/file/druid:cn981xh0967/cn981xh0967.pdf> (accessed: 04.07.2022).
- Martínez-Plumed F. et al. 2021. "CRISP-DM Twenty Years Later: From Data Mining Processes to Data Science Trajectories," in IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 33(8): 3048-3061, 1 Aug. 2021, doi: 10.1109/TKDE.2019.2962680.
- Martinez-Plumed F., Ochando L.C., Ferri C., Flach P. A., Hernandez-Orallo J., Kull M., Lachiche N., Ramirez-Quintana M. J. 2017. "CASP-DM: context aware standard process for data mining," CoRR, vol. abs/1709.09003, 2017. [Electronic resource]. URL: <http://arxiv.org/abs/1709.09003>



Moyle S., Jorge A. 2001. “Ramsys-a methodology for supporting rapid remote collaborative data mining projects,” in ECML/PKDD 2001 Workshop on Integrating Aspects of Data Mining, Decision Support and Meta-Learning: Internal SolEuNet Session, 2001, 20–31.

**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

**Афанасьев Александр Александрович**, аспирант кафедры программного обеспечения и администрирования информационных систем, Курский государственный университет, г. Курск, Россия

**Кудинов Виталий Алексеевич**, доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры программного обеспечения и администрирования информационных систем, Курский государственный университет, г. Курск, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Alexander A. Afanasiev**, Postgraduate Student, Department of Software and Administration of Information Systems, Kursk State University, Kursk, Russia

**Vitaly A. Kudinov**, Doctor of Pedagogy, Professor, Professor of the Department of Software and Information Systems Administration, Kursk State University, Kursk, Russia

УДК 004.852.2

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-575-581

## Классификация микроскопических изображений мокроты с использованием вероятностных байесовских нейронных сетей

Шеломенцева И.Г.

Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого,  
Россия, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, 1  
E-mail: inga.shell@yandex.ru

**Аннотация.** Методы вероятностного глубокого обучения являются основополагающими для распознавания сложных структур в наборах данных, поиска малоразмерных объектов в условиях шума и широко применяются для классификации медицинских изображений. Авторы иллюстрируют реализацию процедуры классификации на основе вероятностных байесовских нейронных сетей для распознавания микроскопических изображений образцов мокроты, окрашенной по методу Циля-Нильсена. Авторы проводят эксперимент с различными сетевыми структурами вероятностной байесовской сети и входными данными, и производят поиск модели с наименьшей ошибкой обучения. Модель, содержащая сверточные детерминированные слои и ориентированная на оценку алеаторической неопределенности, показала наилучшие результаты по параметрам accuracy и тестовой ошибки на экспериментальном наборе данных.

**Ключевые слова:** световая микроскопия, байесовские нейронные сети, вариационный вывод, репараметризация, алеаторическая и эпистемическая неопределенность

**Для цитирования:** Шеломенцева И.Г. 2022. Классификация микроскопических изображений мокроты с использованием вероятностных байесовских нейронных сетей. Экономика. Информатика, 49(2): 575–581. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-575-581

---

## Classification of Microscopy Sputum Image Using Probabilistic Bayesian Neural Network

Inga G.Shelomentseva

Prof. V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University  
1 Partizan Zheleznyak St, Krasnoyarsk, 660022, Russia  
E-mail: inga.shell@yandex.ru

**Abstract.** Probabilistic and deep learning methods are fundamental for recognizing complex structures in data sets, searching for small objects in noisy conditions, and are widely used for classifying medical images. Light microscopy medical images used to detect pathological processes are characterized by fuzziness in the representation of objects of interest, blurred borders, noise, small sized objects of interest, and low spatial resolution. The authors illustrate the implementation of a classification procedure based on probabilistic Bayesian neural networks for classifying light microscopic images of sputum samples stained by Ziehl-Neelsen method. The authors conduct an experiment with various network structures of a probabilistic Bayesian network and input datasets, and search for a model with the smallest learning error. The model containing convolutional deterministic layers and focused on the assessment of aleatoric uncertainty showed the best results in terms of accuracy and test error on the experimental data set.

**Keywords:** light microscopy, Bayesian neural networks, variational inference, reparametrization, aleatoric and epistemic uncertainty

**For citation:** Shelomentseva I.G. 2022. Classification of Microscopy Sputum Image Using Probabilistic Bayesian Neural Network. Economics. Information technologies, 49(3): 575–581 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-575-581

---

## Введение

Сверточные нейронные сети и методы машинного обучения в настоящее время стали стандартом для работы с изображениями [Shin et al., 2016; Serrao et al., 2020]. Одним из основных ограничений использования сверточных нейронных сетей является то, что для создания оптимальной модели требуются огромные объемы данных, что иногда является ограничением для медицинских изображений [Zhang et al., 2020]. Также нередко в медицине используются изображения низкого пространственного разрешения, изображения с шумом, содержащие малоразмерные объекты интереса [Kisantal et al., 2019]. Вероятностные байесовские нейронные сети (PBNN) предоставляют альтернативное решение, которое не только устойчиво к переобучению, но также предлагает оценки неопределенности для зашумленных изображений и изображений низкого пространственного разрешения.

Классическая вероятностная нейронная сеть состоит из четырех слоев – входного, скрытого, слоя суммирования и выходного слоя и представляет собой нейронную сеть с прямой связью. Для каждого класса формируется функция распределения вероятностей, для каждого нового входного вектора используется правило Байеса, чтобы отнести его к классу с наибольшей апостериорной вероятностью. Вероятностное глубокое обучение [Brosse et al., 2020] – это глубокое обучение, которое учитывает как неопределенность модели, так и неопределенность данных и представляет собой гибрид вероятностных моделей и глубоких нейронных сетей. Типичным представителем вероятностного глубокого обучения являются вероятностные байесовские нейронные сети (PBNN) или байесовские сверточные нейронные сети (Bayes CNN) – глубокие нейронные сети, являющиеся при этом вероятностными моделями. Авторы исследовали применимость вероятностных байесовских нейронных сетей для задачи классификации изображений световой микроскопии в общем и микроскопии мокроты, окрашенной по методу Циля – Нильсена, в частности.

## Объекты и методы исследования

В качестве материалов исследования выступили изображения анализов мокроты, окрашенной по методу Циля – Нильсена, полученные при помощи тринокулярного микроскопа. Особенность данных изображений состоит в том, что они содержат малоразмерные объекты, длина и ширина которых меньше 32 пикселей. Построенные модели классификации на базе сверточных сетей трактуют эти малоразмерные ROI как шум при изменении размеров изображения между слоями сверточной сети, что влияет на итоговую точность классификации [Shelomentseva, Chentsov, 2020; Udegova, Shelomentseva, Chentsov, 2021] (рис. 1).

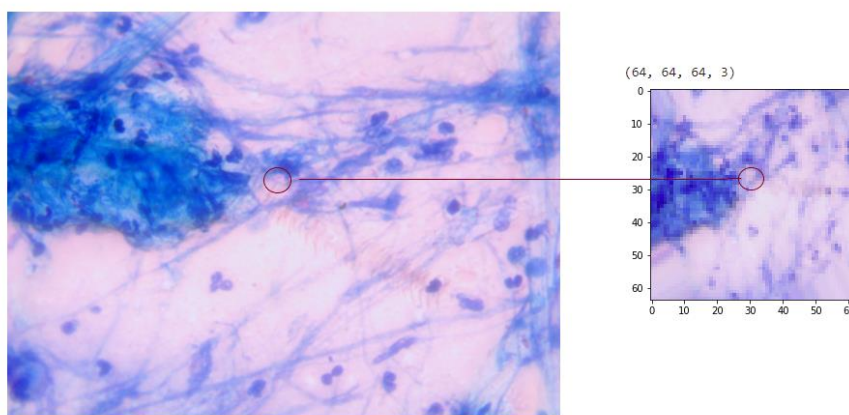


Рис. 1. Результаты применения энкодера декодера к микроскопическим изображениям мокроты  
Fig. 1. Results of applying the decoder encoder to microscopic images of sputum

Вероятностные байесовские нейронные сети (PBNN) используют как вероятностные слои для определения неопределенности весов и активационных функций, так и слои глубокого обучения [Wan, Fu, 2020]. Вероятностная нейронная сеть рассматривает искомую модель как вероятностную, в которой выход  $p(y|x, w)$  является категориальным распределением. При этом апостериорное распределение будет равно (1)

$$p(\theta|D) = \frac{p(D_y|D_x, \theta)p(\theta)}{\int p(D_y|D_x, \theta)p(\theta)d\theta}, \quad (1)$$

где  $p(\theta|D)$  – функция правдоподобия, которая требует своей максимизации,  $p(\theta)$  – априорная вероятность, которая отражает распределение параметров до начала испытаний,  $p(\theta|D)$  – апостериорная вероятность, которая отражает распределение параметров после начала испытаний,  $D$  – обучающий набор,  $D_x$  – обучающие функции, а  $D_y$  – обучающие метки.

Байесовскую апостериорную модель можно использовать для моделирования новых данных  $D^*$  с использованием апостериорного прогноза (2) [Vladimirova et al., 2019].

$$p(D^*|D) = \int p(D^*|\theta)p(\theta|D)d\theta. \quad (2)$$

Вероятностные байесовские нейронные сети как модель можно представить в виде следующих соотношений:  $\theta \sim p(\theta)$  и  $y = BNN_0(x) + \epsilon$ , где  $\theta$  – параметры байесовской нейронной сети, а  $\epsilon$  – случайный шум. Для проектирования PBNN нужно выбрать архитектуру нейронной сети (например, сверточные нейронные сети), затем определить вероятностную модель в виде байесовской априорной оценки параметров  $p(\theta)$  и априорную достоверность предсказательной силы модели  $p(y|x, \theta)$ , которая определяется через  $BNN_0(x)$ .

На практике задача вычисления байесовской апостериорной вероятности является нетривиальной и часто заменяется приближенными методами, а именно вариационным выводом [Wang et al., 2016]. Вариационный вывод призван аппроксимировать байесовское апостериорное распределение  $p(\theta|D)$  при помощи распределения  $q_\phi(\theta)$ , причем значение параметров  $\phi$  выбирается таким, чтобы вариационное распределение было как можно ближе к байесовскому апостериорному распределению [Jospin et al., 2020]. При реализации вероятностной байесовской нейронной сети для классификации изображений световой микроскопии использовалось распределение Гаусса. Для оценки этой меры близости используется дивергенция Кульбака – Лейблера (3), при этом минимизация дивергенции Кульбака – Лейблера эквивалентна максимизации нижней границы свидетельства ELBO (4).

$$D_{KL}(q_\phi||p) = \int q_\phi(\theta)\log\left(\frac{q_\phi(\theta)}{p(\theta|D)}\right)d\theta \quad (3)$$

$$ELBO = \int q_\phi(\theta)\log\left(\frac{p(\theta|D)}{q_\phi(\theta)}\right)d\theta = \log(p(D)) - D_{KL}(q_\phi||p) \quad (4)$$

Проблема объединения вариационного вывода и глубоких нейронных сетей состоит в том, что стохастичность вариационного вывода не позволяет использовать обратное распространение ошибки для параметров скрытых узлов сети. Bayes by backprop представляет собой практическую реализацию стохастического вариационного вывода в сочетании с уловкой репараметризации для обеспечения работы классического алгоритма обратного распространения ошибки [Hinton, Camp, 1993].

Одним из базовых инструментов байесовских нейронных сетей является репараметризация, когда глобальная неопределенность преобразуется в локальную неопределенность ( $\epsilon \rightarrow f(\epsilon)$ ), которая не зависит от обучающих примеров (5). Локальная репараметризация означает, что активационная функция использует средние значения весов, чтобы получить статистически эффективную оценку градиента [Zeng, Lesnikowski, Alvarez, 2018].



$$b_j = A_i * \mu_i + \epsilon_j \odot \sqrt{A_i^2 * (\alpha_i \odot \mu_i^2)}, \quad (5)$$

где  $\epsilon \sim N(0; 1)$ ,  $A_i$  – рецептивное поле,  $*$  – операция свертки,  $\odot$  – покомпонентное умножение.

Неопределенность, связанная с вероятностными нейронными сетями, бывает двух типов – алеаторическая и эпистемологическая [Der Kiureghian, Ditlevsen, 2009]. Алеаторическая неопределенность связана с неопределенностью данных (гетероскедастическая неопределенность), методом их сбора, погрешностью, шумом измерений (гомоскедастическая неопределенность). Данную неопределенность характеризует то, что она не исчезает, даже если будет собрано больше данных. Эпистемическая неопределенность связана с используемой моделью, при этом при увеличении количества данных она уменьшается [Hüllermeier, Waegeman, 2021].

Основной проблемой глубокого вариационного обучения для PBNN (ВБНС) является его избыточность и затратность, как как необходимо учитывать неопределенности для большого количества слоев [Brosse, et al., 2020]. Одним из способов решения этой проблемы является чередование детерминированных и вероятностных слоев при использовании байесовских сверточных нейронных сетей (Bayes CNN). Данный подход позволяет устранить недостатки вероятностного обучения, но при этом давать значимые результаты. Детерминированные слои позволяют изучить представление для конкретной задачи, а вероятностные слои используются для генерации прогнозов и оценки неопределенности [Snoek, Larochelle, Adams, 2012].

### Результаты и их обсуждение

Исследования проводились на базе сервиса Google Colab, фреймворка Tensorflow Probability, библиотеки Keras и языка программирования Python [Manaswi, 2018; Salama, 2021; TensorFlow Probability]. Для распознавания изображений световой микроскопии были построены разнообразные вероятностные байесовские нейронные сети с разными параметрами и разным количеством слоев.

В результате вычислительного эксперимента авторы остановились на трех моделях – с одним сверточным и одним вероятностным слоем (рисунок 2), с одним слоем репараметризации и плотным вероятностным слоем (рисунок 3), с двумя слоями репараметризации, сверточными слоями и слоем вариационного вывода (рисунок 4). В качестве функций потерь исследовались бинарная кроссэнтропия, категориальная кроссэнтропия, отрицательное логарифмическое правдоподобие (NLL). В качестве оптимизаторов выбирались Adam и RMSprop, в качестве функции активации была выбрана функция relu. Также исследовался метод Spike-and-slab для подбора параметров сети, который является априорной моделью, в которой значение величины достигает плотности распределения равной сумме двух нормальных распределений со стандартным отклонением 1 и стандартным отклонением, отличным от 1. В результате подбираемая величина либо достигает своего пика, либо выбирается другое априорное значение величины. Метод Spike-and-slab позволяет исследовать большой диапазон весов нейронной сети.

Первая модель состоит из 6 слоев (сверточный, подвыборки, полносвязный, плотный, dropout и вероятностный) и ориентирована на алеаторическую неопределенность. Данная архитектура исследует распределение выходов модели в зависимости от входных данных с изучаемыми параметрами среднего значения и дисперсии.

Вторая и третья модели ориентированы на поиск полной (эпистемической и алеаторической) неопределенности, исследуют эффективность использования локальной репараметризации и рассчитывают градиент функции потерь по отношению к вариационным параметрам ( $\mu$ ,  $\rho$ ). Вторая модель состоит из 5 слоев (слой репараметризации, слой

подвыборки, полносвязный, плотный и слой вариационного вывода) и изучает распределения весов и выходов модели – рисунок 3.

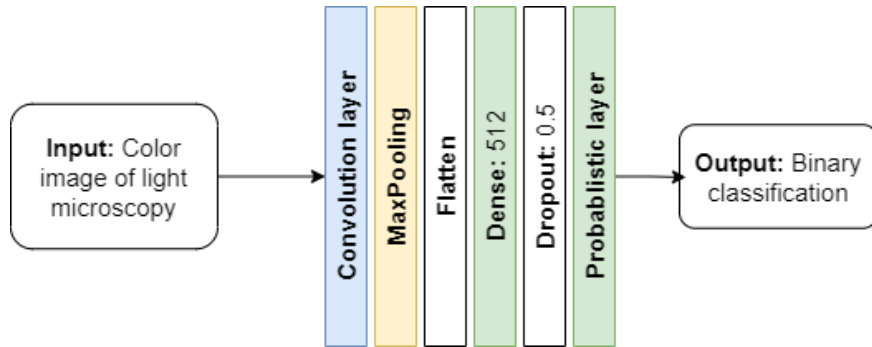


Рис. 2. Модель ВБНС с одним сверточным и одним вероятностным слоем  
Fig. 2. PBNN model with one convolutional and one probability layer

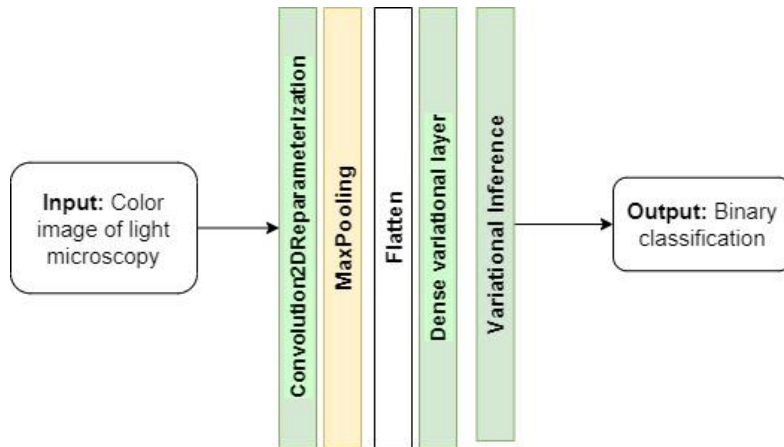


Рис. 3. Модель ВБНС с одним слоем репараметризации и слоем вариационного вывода  
Fig. 3. PBNN model with one reparameterization layer and variational inference layer

Третья модель состоит из 13 слоев (2 слоя репараметризации, 3 сверточных слоя, 4 слоя подвыборки, полносвязный, плотный, dropout и слой вероятностного вывода), исследует эффективность добавления сверточных слоев для увеличения глубины модели.

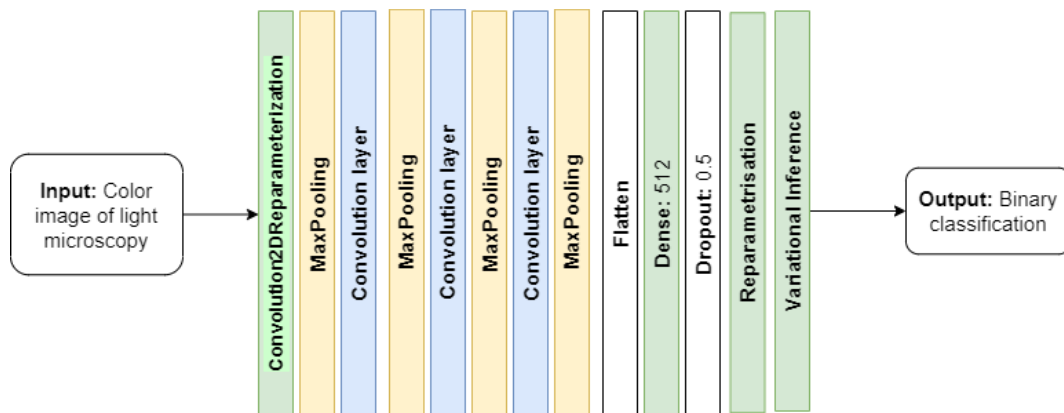


Рис. 4. Модель ВБНС с двумя слоями репараметризации, сверточными слоями и слоем вариационного вывода  
Fig. 4. PBNN model with two reparameterization layers, convolutional layers and a variational inference layer

Fig. 4. PBNN model with two reparameterization layers, convolutional layers and a variational inference layer





В моделях в качестве метода обучения используется Bayes by backprop, в качестве апостериорных значений было выбрано распределение Гаусса с центром вокруг среднего значения  $\mu$  и дисперсия  $\sigma$  (6, 7)

$$q_{\theta}(w^{(l)}|D) = \prod_i N(w_i|\mu, \sigma^2), \quad (6)$$

$$\log(q_{\theta}(w^{(l)}|D)) = \sum_i \log N(w_i|\mu, \sigma^2). \quad (7)$$

Выборочные результаты проведенных экспериментов представлены в таблице. Модель 1 показывает наилучшие результаты по параметрам ассурасу, чувствительности и специфичности на примере классификации микроскопических анализов мокроты, окрашенной по методу Циля – Нильсена и достигает ошибки на тестовых данных равной 0,022.

Результаты вычислительного эксперимента по использованию различных моделей нейронных сетей для классификации изображений анализа мокроты  
 Results of a computational experiment of sputum analysis image classification using various neural network models

Показатель \ Модель	СНС (ResNet50)		ВНС (модель 1)	ВНС (модель 2)	ВНС (модель 3)
Чувствительность, %	98,02		99,53	94,29	98,4
Специфичность, %	91,59		99,49	97,06	99,7
Точность, %	94,71		99,51	95,65	98,52
Ошибка	0,230		0,022	1,46	0,314

### Заключение

Медицинские изображения световой микроскопии анализов мокроты, окрашенной по методу Циля – Нильсена, характеризуются нечеткостью в представлении объектов интереса, размытыми границами, наличием шума, малоразмерными объектами интереса и (нередко) низким пространственным разрешением. Байесовские нейронные сети улучшают производительность обычных нейронных сетей по параметрам точности предсказания и ошибки обучения в случае использования алеаторической вероятности и бинарной классификации. Однако для построения автоматизированной бактериологической системы целесообразнее выбрать модель 3, так как она способна представить не только алеаторическую, но и эпистемическую неопределенность, что существенно расширяет ее использование для решения задач классификации в условиях непрерывно пополняющейся базы данных и шума, чем характеризуются медицинские изображения световой микроскопии.

### References

- Brosse N., Riquelme C., Martin A. Gelly S., Moulines E. 2020. On Last-layer Algorithms for Classification: Decoupling Representation from Uncertainty Estimation – arXiv preprint arXiv: 2001.08049.
- Chang D.T. 2021. Probabilistic Deep Learning with Probabilistic Neural Networks and Deep Probabilistic Models – arXiv preprint arXiv:2106.00120.
- Der Kiureghian A., Ditlevsen O. 2009. Aleatory or epistemic? does it matter? Structural Safety, 31: 105–112.
- Hinton G.E.D., Camp V. 1993. Keeping the neural networks simple by minimizing the description length of the weights. In Proceedings of the sixth annual conference on Computational learning theory: 5–13.
- Hüllermeier E., Waegeman W. 2021. Aleatoric and epistemic uncertainty in machine learning: an introduction to concepts and methods. Machine Learning, 110: 457–506.
- Jospin L.V., Buntine W., Boussaid F., Laga H., Bennamoun M. 2020. Hands-on Bayesian Neural Networks – a Tutorial for Deep Learning Users. ACM Computing Surveys, 1 (1): 1–36.
- Kisantal M., Wojna Z., Murawski J., Naruniec J., Cho K. 2019. Augmentation for small object detection – preprint arXiv: 1902.07296
- Manaswi, N.K. 2018. Deep Learning with Applications Using Python. Springer Science – Business Media, New York, 219 p.

- Salama K. 2021. Probabilistic Bayesian Neural Network. Keras Documentation – [https://keras.io/examples/keras\\_recipes/bayesian\\_neural\\_networks](https://keras.io/examples/keras_recipes/bayesian_neural_networks).
- Serrao M.K.M., Costa M.G.F., Fujimoto L.B., Ogusku M.M., Filho C.F.F.C. 2020. Automatic Bacillus Detection in Light Field Microscopy Images Using Convolutional Neural Networks and Mosaic Imaging Approach. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society: 1903–1906.
- Shelomentseva I.G., Chentsov S.V. 2020. Classification of Microscopy Image Stained By Ziehl-Neelsen Method Using Different Architectures of Convolution Neural Network. Studies in Computational Intelligence, 925: 269–275.
- Shin H., Roth H.R., Gao M., Lu L., Xu Z., Nogues I., Yao J., Mollura D., Summers R.M. 2016. Deep Convolutional Neural Networks for Computer-Aided Detection: CNN Architectures, Dataset Characteristics and Transfer Learning IEEE Transactions on Medical Imaging, 35(5): 1207–1216.
- Snoek J., Larochelle H., Adams R.P. 2012. Practical Bayesian Optimization of Machine Learning Algorithms. Proceedings of Advances in Neural Information Processing Systems Conference: 2951–2959.
- TensorFlow Probability (<https://www.tensorflow.org/probability>)
- Udegova E.S., Shelomentseva I.G., Chentsov S.V. 2021. Optimizing Convolution Neural Network Architecture for Microscopy Image Recognition for Tuberculosis Diagnosis. Advances in Neural Computation, Machine Learning, and Cognitive Research V. NEUROINFORMATICS 2021. Studies in Computational Intelligence, 1008: 204–209.
- Vladimirova M., Verbeek J., Mesejo P., Arbel J. 2019. Understanding Priors in Bayesian Neural Networks at the Unit Level. International Conference on Machine Learning: 6458–6467.
- Wan Q., Fu X. 2020. Fast-BCNN: Massive Neuron Skipping in Bayesian Convolutional Neural Networks. 53rd Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (MICRO): 229–240.
- Wang Z., Hutter F., Zoghi M., Matheson D., de Freitas N. 2016. Bayesian Optimization in a Billion Dimensions via Random Embeddings. Journal of Artificial Intelligence Research, 55: 361–387.
- Zeng J., Lesnikowski A., Alvarez J.M. 2018. The Relevance of Bayesian Layer Positioning to Model Uncertainty in Deep Bayesian Active Learning – arXiv preprint arXiv:1811.12535.
- Zhang X., Zou J., He K., Sun J. 2019. Accelerating Very Deep Convolutional Networks for Classification and Detection – preprint arXiv: 1505.06798.

**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

**Шеломенцева Инга Георгиевна**, старший преподаватель кафедры медицинской кибернетики и информатики, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, г. Красноярск, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Inga G. Shelomentseva**, Senior Lecturer of the Department of Medical Cybernetics and Informatics, Prof. V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russia



УДК 338.012

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-582-588

## Разработка нейросетевых алгоритмов прогнозирования конъюнктуры продовольственного рынка

**Жабин В.Е.**

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева,  
Россия, 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49  
E-mail: zhabin20@gmail.com

**Аннотация.** Современную ситуацию отличает перестройка в мировой политике и очередных волнах антироссийских санкций, лабильность на продовольственных рынках, из-за чего регионам РФ нужно с пристальным вниманием контролировать и обеспечивать продовольственную безопасность. Практика применения нейросетей оказалась высокоэффективной, чтобы осуществлять прогнозирование рыночной обстановки, проводить коррекцию по отклоняющимся товарным и денежным потокам, анализировать и выводить самое основное по итогам социологических опросов, формулировать ожидания по динамике рейтингов элитных политиков, улучшать процессы производства и сервиса, подвергать качество продукции комплексной диагностике. Настоящая статья нацелена на то, чтобы дать характеристику изучения продовольственного рынка методом алгоритма прогнозирования цен, рассмотрев как пример продукцию сельскохозяйственного предприятия, анализируемую при всестороннем задействовании потенциала нейросетей.

**Ключевые слова:** продовольственный рынок, нейросеть, нейросетевой алгоритм, прогнозирование

**Для цитирования:** Жабин В.Е. 2022. Разработка нейросетевых алгоритмов прогнозирования конъюнктуры продовольственного рынка. Экономика. Информатика, 49(3): 582–588. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-582-588

---

## Development of Neural Network Algorithms for Food Market Forecasting

**Vladislav E. Zhabin**

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy  
49 Timiryazevskaya St, Moscow, 127550, Russia  
E-mail: zhabin20@gmail.com

**Abstract.** The current situation is characterized by the restructuring in the world politics and the next waves of anti-Russian sanctions, the lability on the food markets, due to which Russian regions need to monitor closely and ensure food security. The practice of applying neural networks proved to be highly effective for forecasting the market situation, correcting deviating commodity and money flows, analyzing and deriving the most basic information from sociological surveys, formulating expectations on the dynamics of elite politicians' ratings, improving production and service processes, subjecting product quality to comprehensive diagnostics. The present article aims to give a characteristic of food market research by the method of price prediction algorithm, considering as an example agricultural enterprise product analyzed with the comprehensive use of neural network potential. The food market is fully characterized by the conjuncture as an important predictable factor, which is why they study product price forecasting. This article is aimed at showing the principles of price forecasting and the corresponding neural network implementation algorithm generated by the supply of the food market, considering such a type of product as agricultural.

**Keywords:** food market, neural network, neural network algorithm, forecasting

**For citation:** Zhabin V.E. 2022. Development of Neural Network Algorithms for Food Market Forecasting. Economics. Information technologies, 49(3): 582–588 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-582-588

---

## Введение

Каждый из регионов в России в последнее время особенно внимательно концентрируется на стабильной продовольственной безопасности из-за начавшегося разрушения монополярного мира, катализировавшего в свою очередь новые волны санкций против РФ, тогда как непосредственно продовольственным рынкам свойственной остается крайне лабильная ситуация. Для предприятия прогнозировать итоги деятельности, определить ожидания по ключевым показателям развития нужно, чтобы получить основу для оформления в программе будущей деятельности. Данный постулат распространяется и на аграрную отрасль и перерабатывающий сельскохозяйственную продукцию сектор. Нынешний уровень цифровизации отечественного сельского хозяйства вызывает серьезную обеспокоенность: отсутствие научных и практических знаний об инновационных современных сельскохозяйственных технологиях и методологии, отсутствие глобального прогноза цен на сельскохозяйственную продукцию и неразвитость системы логистики, хранения и доставки ведут к высоким производственным затратам [Бубенок, 2019]. Вопрос об успешном прогнозировании предreshен, если остановиться на корректно выбранном методе, работа по которому гарантирует прогнозу достоверность и точность, но при этом не сделает его затратным ни по времени, ни по средствам [Дегтярёва, Таспаев, 2011].

Продовольственный рынок полноценно характеризует конъюнктура как важный прогнозируемый фактор, из-за чего изучают прогнозирование цен на продукцию. Настоящая статья нацелена на то, чтобы показать принципы прогнозирования цен и соответствующий алгоритм нейросетевой реализации, образующихся на предложение продовольственного рынка, рассмотрев такой вид продукции, как сельскохозяйственную.

## Объекты и методы исследования

В последние годы цены прогнозируются такими основными методами:

1) признать сложность метода «Сегодня будет как вчера, завтра будет как сегодня» из-за примитивности нельзя, равно как и высокую эффективность. Метод передан выражением:

$$Y(t+1)=Y(t), \quad (1)$$

поскольку суть гипотезы состоит в следующем: «завтра будет как сегодня» [Каллан, 2001];

2) о методе экспоненциального приближения в источниках заявлена достаточная точность:

$$Y(t+1)= a \cdot Y(t)+(1-a) \cdot Y'(t), \quad (2)$$

где  $Y(t+1)$  – в прогнозе показаны ожидания на период, следующий за текущим;  $Y(t)$  – значение, являющееся реальным на момент  $t$ ;  $Y'(t)$  – ожидания, данные в прошлом прогнозе о моменте  $t$ ;  $a$  – принятая по сглаживанию константа ( $0 \leq a \leq 1$ ) [Хайкин, 2006].

Но слабое место метода состоит в том, что точными ожидания о росте цен не будут, поскольку прогнозирование инвариантно дает значение либо тождественное предыдущему, либо несколько ниже.

Метод нуждается в незначительной доработке, чтобы можно было вести расчеты в нейросети, чтобы войти в диапазон глобальных минимумов функции ошибки, проведя расчеты по кривой ошибки и откорректировав константу « $a$ ». После доработки метод обновлен так, что прогнозирование базируется на задействованной ИНС, на самом эффективном варианте – многослойном перцептроне. Решение выделяется мощностью и апробировано как совершенно адекватное, если поставлена задача прогнозировать цены.



Сильными сторонами метода назовем:

- данные полноценно обобщаются;
- данные, несмотря на различие форматов, подаются на вход, доказывая право применить функцию многих переменных;
- любое из внешних изменений встречается с высокой адаптивностью;
- данные проходят обработку с высокой скоростью, что отличает аппаратную реализацию алгоритма;
- обучаемость ИНС и отсутствие необходимости программировать систему, что делает решение простым в использовании.

Прогнозировать цены на традиционных моделях не настолько эффективно, как применять нейронные сети из-за того, что последними учитываются значительные объемы данных (порядка тысяч и выше за несколько десятков лет). Это делает прогноз наиболее точным. Оптимально для прогнозирования работать с нейросетями, если входные данные размещены в огромном массиве, а закономерности не вскрыты исследователем. Рационально взять любой нейросетевой метод как основу решения задачи, если данные отличает неполнота или «зашумленность», нужна развитая интуиция исследователя [Редько, 2017].

Продуктивность нейросетей доказана для прогнозирования ситуации на рынках, подбора способов, оптимизирующих товарно-денежные потоки, аналитики и систематизации ответов респондентов в социологических опросах, формулировки ожиданий о переменах в политических рейтингах, изменений нуждающихся в оптимизации производственных процессов, комплексности диагностики продукции на предмет качества.

Деятельность в агропромышленном секторе является рентабельной, если государство зададо диапазон закупочных цен. Образование цены согласуется правительством с издержками, понесенными производителями, воздействию среды социально-экономической или политической с соответствующими факторами [Байдаков, Назаренко, Сергиенко, 2013]. Такие аспекты требуют, чтобы стратегия управлением предприятиями в агропромышленном комплексе строилась по результатам прогнозирования закупочных цен.

Ожидания о том, насколько высокими или низкими будут цены на сельскохозяйственные культуры, опираются на ряд факторов, ведущих в данном методе:

- 1) урожайными ли были истекшие периоды;
- 2) историческая ретроспектива цен, задаваемых на агропродукцию в более ранних периодах;
- 3) насколько урожайный текущий год, а также насколько велики совокупные издержки;
- 4) оценка эксперта как профессионала с адекватной уровню прогноза квалификацией.

Примечательно, что рынок сельскохозяйственной продукции отличается хорошей прогнозируемостью цен. По отдельным культурам спрос возникает как постоянный или сезонный, а ожидания о сезонности также предсказуемые [Горенкова, Андриянова, Нечипоренко, 2016]. Чтобы поднять точность, вводят факторы дополнительного характера – насколько оптимально складывались погодные условия, как на рынке складывается конъюнктура, параметры урожайности. Если прогнозирующий работает с опорой на комплексный подход, учитывает множество факторов, то ожидания формулируются особенно точными.

### **Результаты и их обсуждение**

Статистика как наука предоставила большинство из используемых для прогнозирования закупочных цен методов. Такие инструменты выделяются изученностью и доступностью альтернатив составления прогнозирования по той или иной модели. Цифровая экономика в РФ переводит в формат актуального решения обработку данных для прогнозирования в нейронных сетях. Сложность работы с нейронными сетями создает отсутствие практики у пользователя, что мешает грамотно выбрать входные факторы. Чем лучше была сделана предварительная обработка, тем легче будет решена задача классификации [Ширяев, 2009].

Условие правильности на стадии предварительной обработки входного потока и уточнения объема обучающей выборки выводит метод в число безошибочных и идеально идентифицирующих наиболее общие из закономерностей динамики трендов [Рыбина, 2010].

Продукция сельскохозяйственных предприятий обладает некоторой спецификой прогнозирования цен:

- 1) не всегда результаты прогнозирования выражены не приближительными данными;
- 2) не всегда последовательно изложена информация о рынке сельскохозяйственных культур, некоторые данные пробельные, если урожайность по отдельным периодам не показана в отчетности;
- 3) даты в среднем разделяет интервал 14 дней;
- 4) погода и климат переменчивые от периода к периоду;
- 5) импорт в текущий момент колеблется против анализируемого периода.

Исследовательская деятельность по поводу прогнозирования развернута комплексная и продемонстрировала факторы основного и вторичного порядка, отражающихся на достоверности прогнозируемых цен. За каждым из факторов определена значимость, для чего введена критериальная шкала на 1–5 баллов: «1» – фактор признан абсолютно несущественным, «5» – за фактором определен вес максимального.

Раскроем веса вторичных факторов с целью прогнозировать цены в таблице 1.

Таблица 1  
Table 1

Вторичные факторы прогнозирования уровня цен  
Secondary Price Level Predictors

Вторичные факторы	Значимость для прогнозирования
Диверсификация	1
Дифференциация продукта	2
Погодные условия	3
Складские условия	4
Уровень экспорта	4
Уровень импорта	5
Наличие рисков	5
Концентрация покупателей	5

Несомненно, что факторы по весу обладают неодинаковой значимостью. Аналитика позволяет утверждать, что не каждый фактор приведет модель к динамике. Но другие факторы в прогнозную модель можно не вводить из-за низкой информативности или невозможности передать математическими величинами.

Покажем наглядно, как схематически взаимосвязаны факторы первичного и вторичного порядка на прогнозируемые цены (рис. 1).

Смоделируем нейронные сети, в рамках которых происходит прогнозирование цен на агрокультуры. Критерием эффективности нейронных алгоритмов будет ускорение решения задач по сравнению с традиционными методами [Галушкин, 2015]

Перечислим параметры, без которых не осуществляется моделирование прогнозирования методом нейросетевого решения:

1. какой интервал берется для прогнозирования ( $I_n$ ) – указывает на частоту создания очередного нового прогноза;
2. через период прогнозирования ( $\Pi_n$ ) отражают, какой временной интервал охватит составляемый прогноз;
3. по частоте прогнозирования ( $\mathcal{C}_n$ ) судят о том, сколько лет охвачено составляемым прогнозом.



Рис. 1. Схема взаимодействия первичных и вторичных факторов  
 Fig. 1. Scheme of interaction of primary and secondary factors

Прогнозируя цены, нейросеть требует ввода определенных входных данных в виде различных временных рядов:

- закупочных цен –  $P_z(t)$ ;
- продажных цен –  $P_i(t)$ ;
- прихода –  $A_i(t)$ ;
- расхода –  $E_i(t)$ ;
- остатков –  $O_i(t)$ ;
- ряд спроса –  $S_t(t)$ .

Также сюда вводят и данные, характеризующие матрицу корреляции цен  $M_{ij}(t)$ .  
 Формула, по которой рассчитывается величина остатка в моменте  $t$ , следующая:

$$O(t) = O(t - 1) - E(t) + A(t). \quad (3)$$

Самым информативным источником для ввода данных по методу нейронной сети признают историю продаж – почти 60%. В качестве входного фактора рассматривают вектор  $F_i(t)$ , содержащий информацию о том, какие временные ряды характеризуют обе категории цен – продажные и закупочные, а также расходы и приходы, спрос против остатков. Метод приводит к выводу, конечному итогу, – той величине  $P_i(t+1)$ , которая является единственной. Значит, цену показывают как наступающий следующим квант времени.

Только по этапам ведется работа в нейросетевой модели при прогнозировании цен:

- 1) осуществить выбор величин – частоты ( $\mathcal{C}_n$ ), интервала ( $\mathcal{I}_n$ ) и периода, охваченного прогнозированием ( $\mathcal{P}_n$ );
- 2) определить уместные из входных факторов;
- 3) способом кросс-корреляционного анализа изучить прошедшие отбор входные факторы, а часть отбросить, если корреляция является ярко выраженной;

4) придать вид исходным данным, наиболее оптимальный, чтобы приведение завершилось анализом и прогнозом. С этой целью сглаживание позволяет нивелировать пробелы в истории

$$P \frac{t}{g} = \beta * (\sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^N * P_{ij}) / (N-1) * T, \quad (4)$$

где  $P_g$  – назначенная на сельскохозяйственную культуру  $t$  ожидаемая цена, поскольку период  $p$  не описан достоверными данными, взятыми как предположительные;

$T$  – сколько агрокультур по характеристикам тождественные к заданной;

$N$  – периоды, вводимые в историю прогнозирования;

$\beta$  – сглаживание через константу, заданную экспертом.

Сглаживание рассчитывают, обратившись к методу скользящей средней, а период берется 3. Величины подставляются в выражение:

$$F_{t+1} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_{t-i+1}, \quad (5)$$

где  $N$  – периоды, истекшие до прогнозируемых, количество которых вводится в скользящее среднее;  $F$  – константа для сглаживания, принятая на момент ( $t$ );  $A$  – по факту величина, взятая в некоторый момент ( $t$ ).

5) нейронную сеть изучают методом структурного синтеза, чтобы найти наиболее адекватный метод обучения согласно типу;

6) к нейронной сети приложить параметрический синтез, для чего воспользоваться блоком генетического подбора, задав для модели генетический алгоритм.

Когда эволюция ( $L$ ) подходит к последнему этапу, то производится отбор значения  $Z$ , чтобы показать оптимум сетей по количеству. Этот шаг открывает возможности итогового прогноза по временному кванту  $t+1$ , а затем произвести расчеты величины – среднее комитета нейросетей, применив выражение:

$$L = (\sum_{i=1}^Z L_i) / Z. \quad (6)$$

7) завершая алгоритм, осуществляют прогнозирование, положив в основу данные из точки актуальности, а затем выявляют ошибки способом проверки.

### Заключение

Резюмируем, что входные факторы, учитываемой нейросетевой моделью прогнозирования, многочисленны, что значительно поднимает прогнозную точность данных. Примечательно, что функциональность многослойных нейронных сетей настолько широка, что не существует затруднений для операции нелинейной аппроксимации, хотя функция сопровождается множеством переменных. Однозначно, что выявленные особенности делают метод нейронных сетей приоритетным и незаменимым для цен, уровень которых прогнозируется на сельскохозяйственные культуры.

### Список литературы

- Байдаков А.Н., Назаренко А.В., Сергиенко Е.Г. 2013. О построении прогнозных сценариев развития зернового производства. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 94: 784–794.
- Бубенок Е.А. 2019. Искусственный интеллект в цифровой платформе как драйвер инновационного развития прорывных технологий развития отечественного АПК. Вестник МИРБИС. 1(17): 90–95. DOI: 10.25634/MIRBIS.2019.1.11
- Галушкин А.И. 2015. Нейронные сети: основы теории. М.: РиС, 496 с.





- Горенкова Ю.С., Андриянова К.А., Нечипоренко Л.В. 2016. Управленческие аспекты прогнозирования. Эволюция современной науки: сб. ст. международной научно-практической конференции. Уфа: АЭТЕРНА. 123–125.
- Дегтярёва Т.Д., Таспаев С.С. 2011. Планирование на предприятиях АПК: учебно-практическое пособие, под ред. проф. Т.Д. Дегтярёвой. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 170 с.
- Каллан Р. 2001. Основные концепции нейронных сетей: пер. с англ. М.: Вильямс, 290 с.
- Редько В.Г. 2017. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики. М.: Ленанд, 224 с.
- Рыбина Г.В. 2010. Основы построения интеллектуальных систем. М.: Финансы и статистика: ИНФРА-М, 432 с.
- Хайкин С. 2006. Нейронные сети. Полный курс: пер. с англ. 2-е изд., испр. М.: Вильямс, 1104 с.
- Ширяев В.И. 2009. Финансовые рынки: Нейронные сети, хаос, и нелинейная динамика: Учебное пособие. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 232 с.

### References

- Baidakov A.N., Nazarenko A.V., Sergienko E.G. 2013. On the construction of forecast scenarios for the development of grain production. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 94: 784–794. (in Russian)
- Bubenok E. A. 2019. Artificial intelligence in the digital platform as a driver of innovative development of breakthrough technologies for the development of the domestic agro-industrial complex. Bulletin of MIRBIS. 1(17): 90–95. DOI: 10.25634/MIRBIS.2019.1.11 (in Russian)
- Galushkin A.I. 2015. Neural networks: fundamentals of theory. M.: RiS, 496 p. (in Russian)
- Gorenkova Y.S., Andriyanova K.A., Nechiporenko L.V. 2016. Management aspects of forecasting. Evolution of modern science: collected articles of the international scientific-practical conference. Ufa: Aeterna. 123–125. (in Russian)
- Degtyaryova T.D., Taspayev S.S. 2011. Planning at the enterprises of the agroindustrial complex: a training manual, ed. by prof. T.D. Degtyaryova. Orenburg: Publishing Center OGAU, 170 p. (in Russian)
- Kallan R. 2001. Basic Concepts of Neural Networks. transl. from English: Williams, 290 p. (in Russian)
- Redko, V.G. 2017. Evolution, neural networks, intelligence: Models and concepts of evolutionary cybernetics. Moscow: Lenand, 224 p. (in Russian)
- Rybina G.V. 2010. Fundamentals of building intelligent systems. M.: Finance and statistics: INFRA-M, 432 p. (in Russian)
- Haikin S. 2006. Neural Networks: A Full Course: Translated from English. Moscow: Williams, 1104 p. (in Russian)
- Shiryayev V.I. 2009. Financial Markets: Neural Networks, Chaos, and Nonlinear Dynamics: Textbook. Ed. 2nd, rev. and additional. M.: Book house "LIBROKOM", 232 p. (in Russian)

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

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

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Жабин Владислав Евгеньевич**, аспирант кафедры прикладной информатики института экономики и управления АПК, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Vladislav E. Zhabin**, Postgraduate student of Applied Informatics Department, Institute of Economics and Management of Agroindustrial Complex, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

# ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 004.934:681.391

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-589-596

## Субполосная идентификация словных фрагментов речевых сигналов по заданному образцу

<sup>1</sup> Белов С.П., <sup>1</sup> Белов А.С., <sup>2</sup> Прохоренко Е.И., <sup>2</sup> Балабанова Т.Н.

<sup>1</sup> Белгородский университет кооперации, экономики и права,  
Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, 116а

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: belovssergei@gmail.com, belov\_as@bsu.edu.ru, prokhorenko@bsu.edu.ru, sozonova@bsu.edu.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема выделения в записях речевых сигналов фрагментов, порождаемых при произнесении некоторой словоформы, представляющей интерес с позиции решаемой прикладной задачи анализа содержания речевого информационного обмена. При этом предполагается, что изначально класс искомой словоформы задается фрагментом, имеющимся в реальной записи речевого сигнала. Поэтому рассматриваемую проблему естественно именовать прецедентной идентификацией. Актуальность разработки методов и алгоритмов автоматической прецедентной идентификации фрагментов записей речевых сигналов в такой постановке определяется широтой их возможных применений, например, в информационно-аналитических системах безопасности. Основными факторами, определяющими сложность решения указанной проблемы, являются изменчивость свойств фрагментов речевых сигналов, даже порождаемых при произнесении одной и той же словоформы одним и тем же человеком, и необходимостью обучения по одному прецеденту при определении критических областей решающих функций. В данной работе показано, что адекватной основой решения рассматриваемой проблемы является субполосный анализ и разработан оригинальный математический аппарат для его реализации. На основе оригинальных субполосных представлений разработаны решающие процедуры идентификации фрагментов записей речевых сигналов, включая селекцию пауз между словными фрагментами. В частности, предложены процедуры обучения по одному прецеденту с сохранением его исходных субполосных свойств.

**Ключевые слова:** речевой сигнал, словоформа, прецедентная идентификация, субполосный анализ

**Благодарности:** исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 20-07-00215 а.

**Для цитирования:** Белов С.П., Белов А.С., Прохоренко Е.И., Балабанова Т.Н. 2022. Субполосная идентификация словных фрагментов речевых сигналов по заданному образцу. Экономика. Информатика, 49(3): 589–596. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-589-596

## Subband Identification of Word Fragments of Speech Signal Word Segments Precedent

<sup>1</sup> Sergey P. Belov, <sup>1</sup> Alexander S. Belov, <sup>2</sup> Ekaterina I. Prokhorenko, <sup>2</sup> Tatiana N. Balabanova

<sup>1</sup>Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sadovaya St, Belgorod, 308023, Russia,

<sup>2</sup>Belgorod National Research University, 85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: belovssergei@gmail.com, belov\_as@bsu.edu.ru, prokhorenko@bsu.edu.ru, sozonova@bsu.edu.ru

**Abstract.** The article deals with the problem of extracting in the records of speech signals fragments generated during the pronunciation of a certain word form, which is of interest from the standpoint of the applied problem of



analyzing the content of speech information exchange. In this case, it is assumed that initially the class of the desired word form is given by the fragment present in the actual recording of the speech signal. Therefore, the problem under consideration, naturally, is called precedent identification. The relevance of developing methods and algorithms for automatic precedent identification of fragments of speech signal recordings in such a formulation is determined by the breadth of their possible applications, for example, in information and analytical security systems. The main factors that determine the complexity of solving this problem are the variability of the properties of fragments of speech signals, even generated when the same word form is pronounced by the same person, and the need to learn from one precedent when determining critical areas of decisive functions. In this paper, it is shown that subband analysis is an adequate basis for solving the problem under consideration and an original mathematical apparatus for its implementation has been developed. Based on the original subband representations, decision procedures for identifying fragments of speech signal recordings, including the selection of pauses between word fragments, have been developed. In particular, training procedures are proposed for one precedent with the preservation of its original subband properties.

**Keywords:** speech signal, word form, case identification, subband analysis

**Acknowledgments:** The research was supported by RFBR grant No. 20-07-00215 a.

**For citation:** Belov S.P., Belov A.S., Prokhorenko E.I., Balabanova T.N. 2022. Subband Identification of Word Fragments of Speech Signal Word Segments Precedent. Economics. Information technologies, 49(3): 589–596. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-589-596

## Введение

Устная речь для человека является одной из наиболее естественных форм информационного обмена. Поэтому достаточно интенсивно, на протяжении многих лет, проводятся различного вида исследования по изучению особенностей элементов устной речи и ее воздействия на слуховую систему человека [Stevens, Volkman, Newman, 1936; Цвигер, Фельдкеллер, 1971; Молчанов, Бабкина, 1978; Альтман, 1990; Алдошина, 1999, 2002]. Реакция слуховой системы человека на такого рода воздействия тесно сопряжена с мозговой деятельностью (интеллектуальная часть слуховой системы человека). В связи с этим область исследования возникающих эффектов принято именовать психоакустикой и её развитию посвящено большое количество работ [Манфред, Шрёдер, 1975; Гельфанд, 1984; Жиляков и др., 2020; Жиляков и др., 2020a]. Среди них важное место занимают технологии автоматического распознавания устной речи [Рабинер, Шафер, 1981; Шелухин, Лукьянцев, 2000; Аграновский, Леднов, 2004; Ниценко, Шелепов, 2004; Герасимов, Морозов, Фидельман, 2005; Кипяткова, Ронжин, Карпов, 2013]. При этом осуществляется анализ отсчетов речевых сигналов, которые в цифровой форме регистрируются на выходах микрофонов. В данной работе рассматривается направление обнаружения в записях отсчетов речевых сигналов фрагментов, порождаемых при произнесении отдельных словоформ, которые представляют интерес с позиций приложений. В частности, такие ситуации возникают в информационно-аналитических системах безопасности. При этом предполагается, что на наличие ключевых слов проверяются записи речевых сигналов, которые осуществляются в течение некоторого достаточно значительного времени. Отрезки записей отсчетов речевых сигналов, которые осуществляются при произнесении отдельных словоформ, в рамках работы называются словными фрагментами.

Уточним формулировку задачи. Пусть известно, что вектор отсчетов речевого сигнала

$$\vec{x} = (x_1, \dots, x_N)', \quad (1)$$

где штрих означает транспонирование;

$$x_k = x((M + k)\Delta t), k = 1, \dots, N, \quad (2)$$

зарегистрирован при произнесении заданной словоформы.

Здесь символом  $M$  обозначено некоторое начало записи словного фрагмента, размерность вектора определяется его длительностью, а  $\Delta t$  – эквидистантная дискретизация с шагом

$$\Delta t = 1/v_d, \quad (3)$$

где  $v_d$  – частота дискретизации.

Необходимо в остальной записи речевого диалога обнаружить другие словные фрагменты, которые зарегистрированы при произнесении аналогичных словоформ.

Имея в виду, что образованные в другие моменты времени словные фрагменты речевого сигнала не являются четкой копией исходного вектора (1), поэтому описанную процедуру естественно называть идентификацией (отождествлением). Отметим, что в определенном смысле этот термин является синонимом понятия распознавание.

В соответствии с методологиями речь идет о проверке справедливости следующей начальной (нулевой) гипотезы:

$H_0$  – анализируемый словный фрагмент идентичен исходному (зарегистрирован под воздействием заданной словоформы).

Очевидно, что альтернативная гипотеза должна иметь вид

$H_1$  – сравниваемые словные фрагменты речевых сигналов неидентичны.

В основе автоматической идентификации используется некоторая решающая функция, определяющая вычислительную процедуру обработки эмпирических данных. При этом предполагается наличие так называемой критической области значений решающей функции, которые принимаются за свидетельство несоответствия исходной гипотезы эмпирическим данным. Таким образом, необходимо разработать меру близости сравниваемых словных фрагментов и провести обучение для определения критической области.

Важно отметить, что в рамках сформулированной задачи для обучения можно использовать только один прецедент в виде выделенного словного фрагмента. Поэтому необходимо прибегать к моделированию обучающей выборки. Адекватность такого моделирования определяется в том числе свойствами меры близости. В рамках данной работы предлагается применять меры близости, мало реагирующие (инвариантные) к характеристикам голосов, произносящих словоформу-прецедент.

Другой существенный момент заключается в отличиях фрагментов речевых сигналов, порождаемых одними и теми же словоформами, среди которых прежде всего следует отметить различия в длительностях интервалов времени их звучания и изменениями в характеристиках голоса в течение диалога, например, в энергетических характеристиках. Таким образом, необходимо обеспечить инвариантность характеристик меры близости и к такого рода нестационарностям словных фрагментов.

### Основная часть Основы субполосного анализа

Эффективность решающих процедур в основном определяется степенью адекватности отражения свойств анализируемых фрагментов с позиций реакции меры их близости на отличия в характеристиках. В случае речевых сигналов предлагается использовать различия в распределении энергий в частотной области. Концентрация энергий звуков речи, которые порождают речевые сигналы, в малых долях областей определений трансформант Фурье, является мотивом для использования субполосного анализа на основе использования понятия части энергии, попадающей в заданную субполосу. Имея в виду разбиение области определения

$$z \in [-\pi, \pi) \quad (4)$$

трансформанты Фурье (спектра) фрагмента (1)

$$X(z) = \sum_{k=1}^N x_k \exp(-jz(k-1)) \quad (5)$$

на примыкающие субполосы

$$V_r = [-V_{2r}, -V_{1r}) \cup [V_{1r}, V_{2r}), r = 1, \dots, R, \quad (6)$$

указанные части энергии определяет с помощью соотношения



$$P_r(\vec{x}) = \int_{z \in V_r} |X(z)|^2 dz / 2\pi. \quad (7)$$

При этом предполагается выполнение условий покрытия области определения трансформант Фурье субполосами одинаковой ширины

$$\Delta z = V_{2r} - V_{1r} = \pi / R, \quad (8)$$

$$V_{11} = 0, V_{2R} = \pi. \quad (9)$$

Подстановка определения (5) в (7) дает представление

$$P_r(\vec{x}) = \vec{x}' A_r \vec{x}, \quad (10)$$

так что математической основой дальнейших построений являются субполосные матрицы

$$A_r = \{a_{ik}^r\}, i, k = 1, \dots, N \quad (11)$$

с элементами

$$a_{ik}^r = (\sin(V_{2r}(i-k)) - \sin(V_{1r}(i-k))) / \pi(i-k), a_{ii}^r = \Delta z / \pi. \quad (12)$$

При сравнениях фрагментов предлагается учитывать только субполосы, которые в случае

$$P_r(\vec{x}) \geq \|\vec{x}\|^2 \Delta z / \pi, \quad (13)$$

где  $\|\vec{x}\|^2 = \sum_{k=1}^N x_k^2$ . Их можно именовать информационными.

### Субполосная решающая функция

В качестве субполосной меры близости предлагается использовать квадратичную форму (предполагается, что векторы имеют одинаковую размерность)

$$F_G(\vec{x}, \vec{y}) = \vec{u}' A_G \vec{u}, \quad (14)$$

где

$$\vec{u} = (P_G(\vec{y}))^{1/2} \vec{x} - (P_G(\vec{x}))^{1/2} \vec{y}; \quad (15)$$

$$A_G = \sum_{r \in G(\vec{x})} A_r; \quad (16)$$

$$P_G(\vec{x}) = \vec{x}' A_G \vec{x}; \quad (17)$$

$G(\vec{x})$  – множество индексов субполос, удовлетворяющих неравенству (13).

Отметим, что форма (14) инвариантна к изменениям усиления или ослаблений интенсивностей голоса. Её можно именовать субполосной мерой подобия сравниваемых фрагментов. Ясно, что фрагменты надо выравнять по количеству отсчетов, например, добавляя нулевые значения.

Очевидно, что для значений меры (14) справедливо неравенство

$$0 \leq F(\vec{x}, \vec{y}) \leq 2, \quad (18)$$

причем левая граница достигается, когда отрезки трансформант Фурье в пределах совокупности информационных субполос

$$z \in B(\vec{x}), B(\vec{x}) = \cup_{r \in G(\vec{x})} V_r, \quad (19)$$

совпадают с точностью до положительного множителя

$$Y(z) = b \cdot X(z), b > 0, \quad (20)$$

а правая граница достигается, когда этот множитель отрицателен

$$b < 0. \quad (21)$$

Именно это свойство позволяет построить критическую область ограниченных размеров вида

$$D_F = \{0 \leq F_G > h_\alpha\}, \quad (22)$$

верхняя граница которой соответствует априорной вероятности ошибок первого рода

$$Ver(F_G > h_\alpha) \leq \alpha. \quad (23)$$

Естественным приемом определения этой границы является обучение на выборке фрагментов, порожденных одной и той же словоформой. В рассматриваемом случае имеется только один фрагмент-прецедент, что приводит к необходимости использовать искусственное размножение идентичных объектов (аугментации).

### Субполосная аугментация фрагмента-прецедента

Непосредственно из определения (7) и соотношения (12) следует, что ввиду симметричности и положительной определенности матрица (16) представима в виде

$$A_G = Q_G L_G Q_G', \quad (24)$$

где  $Q_G = (\vec{q}_1^G \dots \vec{q}_N^G)$  – ортогональная матрица собственных векторов

$$A_G Q_G = Q_G L_G, Q_G Q_G' = Q_G' Q_G = \text{diag}(1, \dots, 1); \quad (25)$$

$L_G$  – диагональная матрица положительных собственных чисел, упорядоченных по убыванию

$$L_G = \text{diag}(\lambda_1^G, \dots, \lambda_N^G), \quad (25)$$

$$\lambda_1^G \geq \lambda_2^G \geq \dots \geq \lambda_N^G \geq 0. \quad (26)$$

В работе [Жиляков, 2015] доказана справедливость соотношения

$$1 \geq \lambda_k^G = \int_{z \in B(\bar{x})} |W_k^G(z)|^2 dz / 2\pi, \quad (27)$$

где  $W_k^G$  – трансформанта Фурье соответствующего собственного вектора.

При этом с достаточной степенью точности выполняются равенства

$$\lambda_k^G = 0, \quad J_G < k \leq N, \quad (28)$$

когда (с учетом (8))

$$J_G = 2[MN/2R] + 4, \quad (29)$$

квадратная скобка означает целую часть числа, а  $M$  – количество слагаемых в сумме (16).

Поэтому положив

$$Q1_G = (\vec{q}_1^G \dots \vec{q}_{J_G}^G), \quad (30)$$

нетрудно показать, что вектор

$$\vec{s}_G = Q1_G Q1_G' \bar{x} \quad (31)$$

удовлетворяет равенству

$$F_G(\bar{x}, \vec{s}_G) = 0, \quad (32)$$

то есть в указанном смысле идентичен исходному.

Поэтому в процессе аугментации предлагается формировать следующую обучающую последовательность векторов

$$\vec{x}_k = \vec{s}_G + d_k \vec{v}_k, \quad k = 1, \dots, K, \quad (33)$$

где  $\vec{v}_k = (v_{1k}, \dots, v_{Nk})'$  – нормированный вектор

$$\|\vec{v}_k\|^2 = 1, \quad (34)$$

состоящий из гауссовских псевдослучайных чисел с нулевым средним; множитель  $d_k$  обеспечивает равенство евклидовых норм с исходным вектором

$$\|\vec{x}_k\|^2 = \|\bar{x}\|^2. \quad (35)$$

Его значение определяется соответствующим квадратным уравнением, любое из решений которого можно использовать, например

$$d_k = ((\vec{s}_G, \vec{v}_k)^2 + \|\bar{x}\|^2 - \|\vec{s}_G\|^2)^{1/2} - (\vec{s}_G, \vec{v}_k), \quad (36)$$

где символ  $(\cdot)$  означает скалярное произведение векторов в евклидовом пространстве.

Количество генерируемых векторов определяется желаемой вероятностью ошибок первого

$$K = 1/[\alpha] + 1. \quad (37)$$



Тогда для границы критической области справедливо соотношение

$$h_{\alpha} = \max F_G(\vec{x}, \vec{v}_k), 1 \leq k \leq [1/\alpha] + 1. \quad (38)$$

### Заключение

В работе сформулирована актуальная задача обнаружения в записях речевых сигналов словных фрагментов, обусловленных произнесением одной и той же словоформы (прецедент), которая заранее определяется. Проведен анализ особенностей её решения и обоснован подход к решению на основе разбиения областей определения трансформант Фурье на субполосы. Построены субполосные решающие функции и разработана процедура обучения с использованием субполосной аугментации исходного фрагмента – прецедента речевого сигнала.

### Список литературы

- Аграновский А.В., Леднов Д.А. 2004. Теоретические аспекты алгоритмов обработки и классификации речевых сигналов. М., Радио и связь: 164.
- Алдошина И. 1999. Основы психоакустики. Часть 1. Информационно-технический журнал «Звукорежиссер». 6: 1–14.
- Алдошина И. 2002. Основы психоакустики. Слух и речь. Часть 1. Информационно-технический журнал «Звукорежиссер». 1: 38–44.
- Алдошина И. 2002а. Основы психоакустики. Слух и речь. Часть 2. Информационно-технический журнал «Звукорежиссер». 3: 54–58.
- Алдошина, И. 2002б. Основы психоакустики. Слух и речь. Часть 3. Информационно-технический журнал «Звукорежиссер». 4: 38–44.
- Альтман Я.А. 1990. Слуховая система. Ленинград: Наука, 620 с.
- Гантмахер Ф.Р. 1967. Теория матриц. М., Наука: 575.
- Гельфанд С.А. 1984. Слух: введение в психол. И физиол. Акустику. пер. с англ. О.К. Федоровой, О.П. Токарева. М.: Медицина, 350 с.
- Герасимов А.В., Морозов О.А., Фидельман В.Р. 2005. Применение метода модифицированного линейного предсказания к задачам выделения акустических признаков речевых сигналов. Москва: Радиотехника и Электроника. 1287–1292.
- Жиляков Е.Г. 2015. Оптимальные субполосные методы анализа и синтеза сигналов конечной длительности. Москва: Автоматика и телемеханика. 51–66.
- Жиляков Е.Г., Белов С.П., Белов А.С., Медведева А.А. 2020. Модель взаимосвязи координат максимумов огибающих, бегущих вдоль базилярной мембраны волн с частотами их возбуждения. Информационные системы и технологии. 4: 5–10
- Жиляков Е.Г., Белов С.П., Белов А.С., Медведева А.А. 2020а. О Скорости распространения возмущений вдоль базилярной мембраны слуховой системы человека. Инфокоммуникационные технологии. 18(2): 188–194.
- Кипяткова И.С., Ронжин А.Л., Карпов А.А. 2013. Автоматическая обработка разговорной русской речи: монография. СПб.: ГУАП: 314.
- Манфред Р., Шрёдер. 1975. Модели слуха. Proceedings of the IEEE. 63(9): 1332–1350.
- Молчанов А.П., Бабкина Л.Н. 1978. Электрические модели улитки органа слуха. Ленинград: Наука, 181 с.
- Ниценко А.В., Шелепов В.Ю. 2004. Алгоритмы пофонемного распознавания слов наперед заданного словаря. Донецк: Искусственный интеллект. 633–639.
- Рабинер Л.Р., Шафер Р.Ф. 1981. Цифровая обработка речевых сигналов. М., Радио и связь: 496.
- Хорн Р., Джонсон Ч. 1989. Матричный анализ. М.: Мир, 655 с.
- Цвикер Э., Фельдкеллер Р. 1971. Ухо как приемник информации. под редакцией Б.Г. Белкина; пер. с нем. М., Связь, 255 с.
- Шелухин О.И., Лукьянцев Н.Ф. 2000. Цифровая обработка и передача речи. М., Радио и связь: 256.
- Stevens S.S., Volkman J., Newman E.B. 1936. A Scale for the Measurement of the Psychological Magnitude Pitch. The Journal of the Acoustical Society of America. 8(3), 10.1121/1.1915893.

## References

- Agranovsky A.V., Lednov D.A. 2004. Teoreticheskie aspekty algoritmov obrabotki i klassifikacii rechevyh signalov [Theoretical aspects of algorithms for processing and classifying speech signals] M., Radio and communication: 164.
- Aldoshina I. 1999. Osnovy psihoakustiki. CHast' 1 [Fundamentals of psychoacoustics. Part 1] Information and technical magazine "Sound engineer". 6. 1–14.
- Aldoshina I. 2002. Osnovy psihoakustiki. Sluh i rech'. CHast' 1 [Fundamentals of psychoacoustics. Hearing and speech. Part 1] Information and technical magazine "Sound engineer". 1: 38–44.
- Aldoshina I. 2002a. Osnovy psihoakustiki. Sluh i rech'. CHast' 2 [Fundamentals of psychoacoustics. Hearing and speech. Part 2] Information and technical magazine "Sound engineer". 3: 54–58.
- Aldoshina I. 2002b. Osnovy psihoakustiki. Sluh i rech'. CHast' 3 [Fundamentals of psychoacoustics. Hearing and speech. Part 3] Information and technical magazine "Sound engineer". 4: 38–44.
- Altman Ya. A. 1990. Sluhovaya sistema [Auditory system]. Leningrad, Nauka, 620.
- Gantmakher F.R. 1967. Teoriya matric. [Matrix theory]. M., Nauka: 575.
- Gelfand S. A. 1984. Sluh : vvedenie v psihol. I fiziol. Akustiku [Rumor: an introduction to psychol. And physiol. Acoustics] / trans. from English. O.K. Fedorova, O.P. Tokareva. M.: Medicine, 350.
- Gerasimov A.V., Morozov O.A., Fidelman V.R. 2005. Primenenie metoda modifitsirovannogo linejnogo predskazaniya k zadacham vydeleniya akusticheskikh priznakov rechevyh signalov [Application of the modified linear prediction method to the problems of extracting acoustic features of speech signals]. Moscow: Radio Engineering and Electronics. 1287–1292.
- Zhilyakov E.G. 2015. Optimal subband methods for analysis and synthesis of finite duration signals. M., Automation and telemechanics. 51–66 (in Russian).
- Zhilyakov E.G., Belov S.P., Belov A.S., Medvedeva A.A. 2020. Model' vzaimosvyazi koordinat maksimumov ogibayushchih begushchih vdol' bazilyarnoj membrany voln s chastotami ih vzbuzhdeniya [Model of the relationship between the coordinates of the maxima of the envelopes of waves traveling along the basilar membrane with the frequencies of their excitation] Information systems and technologies. 4. 5–10.
- Zhilyakov E.G., Belov S.P., Belov A.S., Medvedeva A.A. 2020a. Skorosti rasprostraneniya vozmushchenij vdol' bazilyarnoj membrany sluhovoj sistemy cheloveka [On the Speed of Disturbances Propagation along the Basilar Membrane of the Human Auditory System] Infocommunication Technologies. 18(2): 188–194.
- Kipyatkova I.S., Ronzhin A.L., Karpov A.A. 2013. Avtomaticheskaya obrabotka razgovornoj russkoj rechi [Automatic processing of colloquial Russian speech] monograph. St. Petersburg: GUAP: 314.
- Manfred R. Schroeder 1975. Modeli sluha [Hearing Models] Proceedings of the IEEE. 63(9): 1332–1350.
- Molchanov A.P., Babkina L.N. 1978. Elektricheskie modeli ulitki organa sluha [Electric models of the cochlea of the organ of hearing]. Leningrad: Nauka, 181.
- Nitsenko A.V., Shelepov V.Yu. 2004. Algoritmy pofonemnogo raspoznavaniya slov napered zadannogo slovarya [Algorithms for phonemic recognition of words in a predetermined dictionary]. Donetsk: Artificial Intelligence. 633–639.
- Rabiner L.R., Shafer R.F. 1981. Cifrovaya obrabotka rechevyh signalov [Digital processing of speech signals]. M., Radio and communication: 496.
- Horn R., Johnson C. 1989. Matrichnyj analiz [Matrix analysis]. M.: Mir, 655.
- Zviker E., Feldkeller R. 1971. Uho kak priemnik informacii [Ear as an information receiver] M.: Communication, 255.
- Shelukhin O.I., Lukyantsev N.F. 2000. Cifrovaya obrabotka i peredacha rechi [Digital processing and transmission of speech]. M., Radio and communication: 256.
- Stevens S.S., Volkman J., Newman E.B. 1936. A Scale for the Measurement of the Psychological Magnitude Pitch. The Journal of the Acoustical Society of America. 8(3), 10.1121/1.1915893.

**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

**Белов Сергей Павлович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационной безопасности, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

**Sergey P. Belov**, Professor of the Department of Information Security, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

**Белов Александр Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационной безопасности, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

**Alexander S. Belov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Security, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

**Прохоренко Екатерина Ивановна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Ekaterina I. Prokhorenko**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Балабанова Татьяна Николаевна**, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, кандидат технических наук, доцент Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Tatiana N. Balabanova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 621.39

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-597-606

## Обнаружение сигналов на фоне шумов в сверхширокополосных радиолокационных системах при субполосной обработке информации

<sup>1</sup> Орищук С.Г., <sup>2</sup> Олейник И.И., <sup>2</sup> Прохоренко Е.И., <sup>2</sup> Головки М.В.

<sup>1</sup> Акционерное общество «НПО» Электронное приборостроение»,  
ул. 2-я Боевская, д. 2с, стр. 2, г. Москва, 107014, Россия

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

E-mail: orishuck.sergei@yandex.ru, oleinik\_i@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Разработано параметрическое решающее правило обнаружения сигналов на фоне шумов в сверхширокополосных радиолокационных системах при субполосной обработке информации. Решающее правило основано на вычислении отношения правдоподобия и сравнении его с порогом. В качестве оценок используются оценки вектора математического ожидания и ковариационной матрицы. В качестве критерия принятия решения о наличии сигнала на фоне собственных шумов, был выбран критерий Неймана-Пирсона, который обеспечивает максимальную вероятность правильного обнаружения сигнала, при заданной вероятности ошибки первого рода. В качестве обучающей выборки используется выборка, получаемая при априорном отсутствии сигнала, полученная по собственным шумам. В силу независимости частотных каналов, при субполосной обработке, оценка ковариационной матрицы, получаемая на этапе обучения, имеет диагональный вид с оценкой дисперсий уровня шумов в каналах. Разработана процедура оценки уровня порога принятия решения, которая проводится на этапе обучения. Для этого необходимо получить оценки отношения правдоподобия при априорном отсутствии сигнала и выбрать квантиль нормального распределения для заданной вероятности ошибки первого рода.

**Ключевые слова:** обнаружение, решающее правило, оценка, шум, математическое ожидание, ковариационная матрица, критерий, выборка, вектор, распределение, субполосный

**Для цитирования:** Орищук С.Г., Олейник И.И., Прохоренко Е.И., Головки М.В. 2022. Обнаружение сигналов на фоне шумов в сверхширокополосных радиолокационных системах при субполосной обработке информации. Экономика. Информатика, 49(3): 597–606. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-597-606

---

## Detection of Signals Against Noise in Ultra-Wideband Radar Systems with Subband Processing Information

<sup>1</sup> Sergey G. Orishchuk, <sup>2</sup> Ivan I. Oleynik, <sup>2</sup> Eraterina I. Prokhorenko, <sup>2</sup> Marina V. Golovko

<sup>1</sup> Joint-stock company «SPA» Electronic instrumentation»,

2 Boevskaya St, building 2, house 2c, Moscow, 107014, Russia

<sup>2</sup> Belgorod National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

E-mail: orishuck.sergei@yandex.ru, oleinik\_i@bsu.edu.ru

**Abstract.** A parametric decision rule for detecting signals against noise in ultra-wideband radar systems with subband information processing has been developed. The decisive rule is based on calculating the likelihood ratio and comparing it with the threshold. Estimates of the expectation vector and the covariance matrix are used as estimates. As a criterion for deciding on the presence of a signal against the background of its own noise, the Neumann-Pearson criterion was chosen, which provides the maximum probability of correct detection of the signal, with a given probability of error of the first row. As a training sample, a sample



obtained with a priori absence of a signal, obtained from its own noise, is used. Due to the independence of the frequency channels, with subband processing, the estimate of the covariance matrix obtained at the training stage has a diagonal form with an estimate of the noise level variances in the channels. A procedure has been developed for assessing the level of the decision-making threshold, which is carried out at the training stage. To do this, it is necessary to obtain estimates of the likelihood ratio in the a priori absence of a signal and select the quantile of the normal distribution for a given probability of error of the first kind.

**Keywords:** detection, decisive rule, estimation, noise, mathematical expectation, covariance matrix, criterion, sampling, vector, distribution, subband

**For citation:** Orishchuk S.G., Oleynik I.I., Prokhorenko E.I., Golovko M.V. 2022. Detection of Signals Against Noise in Ultra-Wideband Radar Systems with Subband Processing Information. Economics. Information technologies, 49(3): 597–606 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-597-606

## Введение

На сегодняшний день в сверхширокополосных (СШП) радиолокационных системах (РС) используются различные виды сигналов. Наиболее распространенные из них: линейно-частотно-модулированные (ЛЧМ), фазо-кодо-манипулированные (ФКМ) и ряд других сложных сигналов, включая шумоподобные [Barnon, 2013]. Увеличение спектра сигналов (расширение полосы) определяется все возрастающими требованиями к характеристикам СШП РС. В частности, шириной спектра сигнала определяется разрешающая способность такой системы по дальности [Cherniakov, 2008], что позволяет существенно расширить перечень решаемых системой задач. Это позволяет создать пространственный (дальностный) «портрет» обнаруживаемого объекта [Бакулев, 2004], улучшить контраст обнаруживаемого объекта на фоне пассивной помехи (подстилающей поверхности) за счет снижения доли отражений от нее в разрешаемом объеме системы [Важенин, 2015]. Кроме этого, чем шире спектр сигнала, тем больше энергии можно аккумулировать в излучаемом сигнале, а также сформировать частотный «портрет» объекта [Кошелев, 2001], от которого происходит отражение, и использовать его при распознавании класса объекта.

Кроме этого, необходимо провести оценку координат объекта и осуществлять его сопровождение при движении [Кузьмин, 2000].

Таким образом, обработка информации в СШП радиолокационных системах требует постоянного совершенствования методов представления и ее обработки. Одним из таких методов является субполосная обработка.

Однако, прежде чем решать вышеперечисленные задачи, необходимо принять решение об обнаружении отраженного от объекта сигнала [Taylor, 2000]. По сути, это задача выделения принимаемого сигнала на фоне собственных шумов приемного устройства. Уровень собственных шумов, в свою очередь, определяется чувствительностью приемника [Колосовский, 2012].

## Субполосное представление входных сигналов

На сегодняшний день группой ученых НИУ «БелГУ» под руководством профессора Жилиякова Е.Г. достаточно хорошо отработаны методы субполосного представления и дальнейшей цифровой обработки входных сигналов [Zhilyakov, 2015; Zhilyakov, 2020, Попов, 2022]. Данные методы предполагают проведение анализа свойств принимаемых сигналов с позиций разбиения частотной полосы на субполосы [Zhilyakov, 2015].

В данной статье в качестве примера будем рассматривать представление СШП сигнала с ЛЧМ на основе дискретного (ступенчатого) изменения частоты.

Принятый и оцифрованный широкополосный сигнал (дискретизированный по времени) можно представить в векторном виде [Zhilyakov, 2015]

$$\vec{x} = (x_1, \dots, x_Q). \quad (1)$$

При этом компоненты вектора представляют собой значения сигнала (функции времени), которые соответствуют значению аргумента  $q\Delta t$

$$x_q = x(q\Delta t), q = 1, \dots, Q, \quad (2)$$

где:  $\Delta t$  – интервал дискретизации по времени;  $Q$  – количество отсчетов сигнала;  $q$  – номер отсчета.

При обработке сигналов необходимо учитывать то, что энергии сигнальных компонент сосредоточены в малом количестве достаточно узких интервалов области определений спектров. Такой подход, когда данные анализируются с позиций некоторого разбиения частотной оси на ряд частотных интервалов, принято называть субполосным [Zhilyakov, 2020].

$$\Delta\omega = 4\pi/(Q - 1). \quad (3)$$

В соответствии с соотношением (3) предлагается следующее разбиение оси частот на частотные интервалы  $k$  вида [Zhilyakov, 2015]

$$\Omega_k = [-\Omega_{1k}, -\Omega_{2k}) \cup [\Omega_{1k}, \Omega_{2k}), k = 0, \dots, K, \quad (4)$$

$$\Omega_{10} = 0; \Omega_{20} = 2\pi/(M - 1); \Omega_{1k} = \Omega_{2,k-1}; \Omega_{2k} - \Omega_{1k} = 4\pi/(Q - 1), \quad (5)$$

где:  $K$  – число частотных интервалов;  $k$  – номер частотного интервала.

В основе субполосного анализа целесообразно использовать понятие части энергии сигнала, попадающей в заданный частотный интервал [Zhilyakov, 2020]

$$P_k(x) = \int_{\omega \in \Omega_k} |X(\omega)|^2 d\omega / 2\pi. \quad (6)$$

Подстановка сюда определения

$$X(\omega) = \sum_{q=1}^Q x(q) \exp(-j\omega(q - 1)) \quad (7)$$

после ряда преобразований позволяет получить представление непосредственно в области оригиналов в виде квадратичной формы [Zhilyakov, 2020]

$$U_k(\vec{x}) = \vec{x}^T A_k \vec{x}, \quad (8)$$

где:  $A_k = \{a_{\gamma\xi}^k\}$ ,  $\gamma, \xi = 1, \dots, Q$  – субполосная матрица с элементами

$$a_{\gamma\xi}^k = \begin{cases} \frac{\sin[\Omega_{2k}(\gamma - \xi)] - \sin[\Omega_{1k}(\gamma - \xi)]}{\pi(\gamma - \xi)}, \gamma \neq \xi \\ \frac{\Omega_{2k} - \Omega_{1k}}{\pi}, \gamma = \xi \end{cases} \quad (9)$$

Для каждого частотного интервала рассчитывается субполосная матрица. После преобразования (8) выборка (1) фактически преобразовывается в вектор размерностью  $k$ , который можно назвать спектральным вектором (СВ) и записать в виде [Burdanova 2019]

$$\vec{\mathbf{U}}_{(k)} = \begin{pmatrix} U_{(1)} \\ U_{(2)} \\ \dots \\ U_{(k)} \end{pmatrix} = (U_{(1)} \quad U_{(2)} \quad \dots \quad U_{(k)})^T, \quad (10)$$

где:  $U$  – уровень сигнала в частотном интервале;  $k$  – номер частотного интервала;  $T$  – знак транспонирования.

Относительно ЛЧМ сигнала, общее число частотных интервалов и их ширину полосы целесообразно сопоставить с числом дискрет сигнала и величиной шага по частоте.

Если радиолокационная система осуществляет несколько зондирований (пачка) по одному и тому же объекту и выполняются требования к когерентности отраженных сигналов (параметры отраженных сигналов неизменны в течение времени когерентности) [Ширман, 2007], то принятую пачку сигналов можно представить в виде выборки  $n$  векторов

$$\vec{\mathbf{U}}_{n(k)} = \begin{pmatrix} U_{1(1)} & U_{2(1)} & \dots & U_{n(1)} \\ U_{1(2)} & U_{2(2)} & \dots & U_{n(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ U_{1(k)} & U_{2(k)} & \dots & U_{n(k)} \end{pmatrix}, \quad (11)$$



где:  $n$  – количество импульсов в пачке; текущий номер зондирования  $i = 1, \dots, n$ ; размерность векторов в выборке равна  $k$ .

Фактически, такое субполосное представление входных сигналов позволяет рассматривать радиолокационную систему как многоканальную (по частоте) систему. При этом очевидно, что в силу использования при преобразовании субполосных матриц  $A_k$  (9) такие каналы являются взаимно ортогональными. Это создает возможность сделать физические предположения о том, что собственные шумы в таких каналах будут независимы (т. е. некоррелированные). Следовательно, при разработке решающего правила выделения сигнала на фоне собственных шумов (обнаружения сигнала) возможно использовать подходы, применяемые в многоканальных радиолокационных системах.

### Решающее правило обнаружения сигнала на фоне собственных шумов при субполосной обработке

В общем случае выборка (11) является случайными измерениями (является многомерной случайной величиной), поскольку измерения подвержены случайным возмущениям, вероятностный характер которых сказывается на всех стадиях. Это погрешности самого измерителя, неточности регистрации и шумы в каналах при передаче данных измерений, ошибки округления при вычислениях и ряд других параметров. Следовательно, возможно определить многомерное распределение вероятности данных измерений и провести оценку его моментов. В случае предположения Гауссовости (нормальности) случайных измерений, вероятностное распределение выборки может характеризоваться двумя моментами – первым начальным (математическим ожиданием) и вторым центральным (ковариационной матрицей) [Фомин, 1986].

При таком подходе возможно использование параметрических решающих правил. В данном случае это означает возможность использования оценок параметров распределения случайной величины (выборки входных сигналов). При Гауссовом (нормальном) распределении выборки (11) это оценка первого начального момента (оценка математического ожидания) и второго центрального момента (дисперсии). В многомерном случае – это оценка вектора математического ожидания (МО) и ковариационной матрицы (КМ).

В результате распределение выборки (11) возможно описать многомерным нормальным распределением с определенной плотностью вероятности. В качестве параметров распределения используются оценки МО и КМ.

Элементы КМ отражают степень статистической связи элементов исходного вектора фиксируемых параметров между собой. Вектор МО можно записать в виде

$$\vec{\mathbf{m}}_{(k)} = \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \dots \\ m_k \end{pmatrix}, \quad (12)$$

где элементы вектора  $\vec{\mathbf{m}}_{(k)}$  вычисляются в соответствии с выражениями

$$m_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{i(1)}, \quad m_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{i(2)}, \quad \dots, \quad m_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{i(k)}, \quad (13)$$

где:  $k$  – размерность вектора (количество частотных интервалов или субполос);  $i$  – текущий номер в выборке (номер зондирования).

Размерность вектора МО (12) будет соответственно  $k$ . КМ можно записать в виде выражения [Фомин, 1986]

$$\mathbf{M}_{(k \times k)} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \vec{\mathbf{U}}_{i(k)} - \vec{\mathbf{m}}_{(k)} \right) \left( \vec{\mathbf{U}}_{i(k)} - \vec{\mathbf{m}}_{(k)} \right)^T. \quad (14)$$

Размерность такой матрицы будет равна  $k \times k$ .

Плотность вероятности  $i$ -го вектора выборки может быть записана в виде выражения [Фомин 1986]

$$P(\vec{U}_{i(k)}) = \frac{1}{(2\pi)^n (\det \mathbf{M}_{(k \times k)})^n} \exp \left[ -\frac{1}{2} (\vec{U}_{i(k)} - \vec{m}_{(k)})^T \mathbf{M}_{(k \times k)}^{-1} (\vec{U}_{i(k)} - \vec{m}_{(k)}) \right]. \quad (15)$$

Свойство нормальности сильно упрощает вид решающей функции, так как решающая функция оказывается линейной комбинацией наблюдений, и ее распределение вновь будет нормальным.

Априорные вероятности, необходимые для принятия решения о наличии объекта, на практике обычно неизвестны. Поэтому наиболее широко используется критерий, не зависящий от этих вероятностей. Это критерий Неймана – Пирсона, который обеспечивает максимальную вероятность правильного обнаружения  $D$  при заданной вероятности ошибки первого рода (ложной тревоги  $F$ ). Таким образом, решение задачи обнаружения объекта на фоне собственных шумов в большинстве случаев сводится к вычислению отношения правдоподобия и сравнению его с порогом  $C$  [Ширман 2007]

$$l(U) = \frac{P_{cu}(U)}{P_u(U)} > C, \quad (16)$$

где:  $P_{cu}(U)$  и  $P_u(U)$  – условные плотности вероятностей одной и той же принятой реализации, при наличии сигнала и шума и только шума.

Таким образом, требование ограничения условной вероятности  $F < F_0 = F_{допуст}$  приводит к небайесовскому критерию Неймана – Пирсона [Ширман, 2007]. Следовательно, оптимальный обнаружитель обеспечивает условную вероятность правильного обнаружения  $D$ , наибольшую из всех обнаружителей, условная вероятность ложной тревоги  $F$  которых не превышает заданной  $F_0$  [Ширман, 2007].

Порог в данном случае должен выбираться по допустимому уровню условной вероятности ошибки первого рода (ложной тревоги  $F_0$ ). Это позволяет не оперировать платами за ошибки [Фомин, 1986], которые в общем случае априорно не известны. Но остается некий «произвол» уровня ложной тревоги. Он снижается за счет априорных знаний технических характеристик конкретной РС. Например, путем дифференциации уровня порога по зонам. Возможно увеличить дальность обнаружения, допуская повышение числа ложных тревог в отдельном кольце (секторе дальностей), или сократить это число на меньших дальностях (при больших отношениях сигнал/шум) [Ширман, 2007]. Это позволяет применять различные технические решения конструкторам РС и в большей степени определяется решением конкретных задач такими средствами [Воскресенский, 2004]. Обычно в РС при обнаружении сигнала задается вероятность ошибки первого рода от  $10^{-6}$  до  $10^{-10}$ , в зависимости от конкретных задач [Ботов, 2013].

Решающее правило сформулируем как проверку статистических гипотез.

Гипотеза  $H_1$  – в принимаемом входном сигнале присутствуют отражения от объекта. Гипотеза  $H_0$  – в принимаемом входном сигнале отсутствуют отражения от объекта (присутствуют только собственные шумы).

Решающее правило в данном случае формируется в виде отношения правдоподобия и сравнения его с порогом. После логарифмирования решающее правило может быть записано в виде [Фомин, 1986]

$$\ln L = \frac{n}{2} \ln \frac{\det \mathbf{M}_0}{\det \mathbf{M}_1} + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \left( (\vec{U}_{i(k)} - \vec{m}_{0(k)})^T \cdot (\mathbf{M}_{0(k \times k)})^{-1} \cdot (\vec{U}_{i(k)} - \vec{m}_{0(k)}) - \right. \\ \left. - (\vec{U}_{i(k)} - \vec{m}_{1(k)})^T \cdot (\mathbf{M}_{1(k \times k)})^{-1} \cdot (\vec{U}_{i(k)} - \vec{m}_{1(k)}) \right) > \ln C, \quad (17)$$

где:  $\vec{m}_{1(k)}$ ,  $\vec{m}_{0(k)}$ ,  $\mathbf{M}_{1(k \times k)}$ ,  $\mathbf{M}_{0(k \times k)}$  – оценки векторов МО и КМ при справедливости гипотез  $H_1$  и  $H_0$  соответственно.



Оценки вектора МО  $\vec{m}_{1(k)}$  и КМ  $\mathbf{M}_{1(k \times k)}$  должны быть получены с использованием контрольной выборки, получаемой в текущих измерениях по априори неизвестному объекту.

Оценки вектора МО  $\vec{m}_{0(k)}$  и КМ  $\mathbf{M}_{0(k \times k)}$  должны быть получены с использованием обучающей выборки, получаемой априорно в условиях отсутствия отраженного сигнала от объекта.

Рассмотрим более подробно свойства этих оценок. Для радиосигнала оценки МО будут равны нулю. То есть представляют собой вектор с компонентами равными нулю. Оценка КМ  $\mathbf{M}_{0(k \times k)}$  в силу независимости шумов в частотных каналах (некоррелированности) будет диагональной [Ширман, 2007]

$$\mathbf{M}_{0(k \times k)} = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & & & \\ & \sigma_2^2 & & \\ & & \dots & \\ & & & \sigma_k^2 \end{pmatrix}, \quad (18)$$

где:  $\sigma_k^2$  – дисперсии уровня шумов в  $k$ -м частотном канале (в общем случае дисперсии могут быть не равны друг другу).

Оценка  $\mathbf{M}_{1(k \times k)}$  может быть получена в соответствии с выражением (14) и имеет вид

$$\mathbf{M}_{1(k \times k)} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \vec{U}_{i(k)} \right) \left( \vec{U}_{i(k)} \right)^T. \quad (19)$$

Таким образом, учитывая (18) и (19), решающее правило (17) можно записать в виде

$$\ln L = \frac{n}{2} \ln \frac{\det \mathbf{M}_0}{\det \mathbf{M}_1} + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \vec{U}_{i(k)} \right)^T \cdot \left( \mathbf{M}_{0(k \times k)} \right)^{-1} \cdot \left( \vec{U}_{i(k)} \right) - \left( \vec{U}_{i(k)} \right)^T \cdot \left( \mathbf{M}_{1(k \times k)} \right)^{-1} \cdot \left( \vec{U}_{i(k)} \right) > \ln C. \quad (20)$$

После преобразования, возможно привести к виду

$$\ln L = \frac{n}{2} \ln \frac{\det \mathbf{M}_0}{\det \mathbf{M}_1} + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \vec{U}_{i(k)} \right)^T \cdot \left( \left( \mathbf{M}_{0(k \times k)} \right)^{-1} - \left( \mathbf{M}_{1(k \times k)} \right)^{-1} \right) \cdot \left( \vec{U}_{i(k)} \right) > \ln C. \quad (21)$$

Таким образом, решающее правило заключается в вычислении логарифма отношения правдоподобия и сравнения его с порогом. При этом необходимо учитывать особенности, возникающие при субполосном представлении входных сигналов для получения оценок на этапе обучения и в процессе поступления контрольной выборки.

### Оценка порога принятия решения о выделении сигнала на фоне собственных шумов при субполосной обработке

Порог принятия решения можно определить, как было сказано выше, в соответствии с критерием Неймана – Пирсона, задав вероятность ошибки первого рода  $F$  (ложная тревога). При превышении порога принимается гипотеза  $H_1$  – контрольная выборка содержит сигнал, отраженный от объекта. Гипотеза  $H_0$  принимается, если контрольная выборка содержит только шум.

Порог принятия решения определяется таким образом, чтобы вероятность ошибки первого рода  $F$  была не больше заданного значения  $F_0$  [Ширман, 2007]

$$F = \int_c^{\infty} W(L/H_0) dL \leq F_0,$$

где:  $W(L/H_0)$  – плотность распределения отношения правдоподобия  $L$  при условии, что контрольная выборка (11)  $\vec{U}_{n(k)}$  соответствует гипотезе  $H_0$ .

Для нахождения значения порога принятия решения можно воспользоваться методикой, предложенной в [Фукунага, 1979]. Применительно для рассматриваемого случая процедура нахождения значения порога будет заключаться в следующем. Находим достаточную статистику

$$\eta = \sum_{i=1}^N (\bar{\mathbf{U}}_{i(k)})^T \left( (\mathbf{M}_{0(k \times k)})^{-1} - (\mathbf{M}_{1(k \times k)})^{-1} \right) (\bar{\mathbf{U}}_{i(k)}). \quad (22)$$

При превышении порога принимается решение о наличии в принимаемой выборке отражений от объекта.

$$\eta = 2 \ln \left[ \frac{C}{\frac{\det \mathbf{M}_0}{\det \mathbf{M}_1}} \right]^{\frac{n}{2}}. \quad (23)$$

При этом необходимо вычислить значения параметров распределения решающей статистики  $\eta$ . При большом  $n$  можно полагать распределение  $\eta$  нормальным [Фукунага, 1979]. Таким образом, задача сводится к расчету среднего значения  $m_\eta = \langle \eta \rangle$  и дисперсии  $\langle \eta^2 - m_\eta^2 \rangle$  статистики  $\eta$  для гипотез  $H_0$  и  $H_1$ . Для решения этой задачи выделим из (22) одно из статистических независимых слагаемых и обозначим

$$\eta_i = (\bar{\mathbf{U}}_{i(k)})^T \left( (\mathbf{M}_{0(k \times k)})^{-1} - (\mathbf{M}_{1(k \times k)})^{-1} \right) (\bar{\mathbf{U}}_{i(k)}), \quad (24)$$

где

$$\mathbf{Z} = (\mathbf{M}_{1(k \times k)})^{-1} - (\mathbf{M}_{0(k \times k)})^{-1}. \quad (25)$$

Вычислив характеристическую функцию, получим

$$Q_i(\vartheta) = \left| \mathbf{I} - j2\vartheta \mathbf{M} \mathbf{Z} \right|^{-\frac{1}{2}}, \quad (26)$$

где:  $\mathbf{I}$  – единичная матрица;  $\mathbf{M} = \mathbf{M}_{0(k \times k)}$ ,  $\mathbf{M} = \mathbf{M}_{1(k \times k)}$  для гипотез  $H_0$  и  $H_1$  соответственно.

Характеристическая функция принимает вид

$$Q_0(\vartheta) = \left| \mathbf{I} - j2\vartheta (\mathbf{I} - (\mathbf{M}_{0(k \times k)}) (\mathbf{M}_{1(k \times k)})^{-1}) \right|^{-\frac{n}{2}}, \quad (27)$$

$$Q_1(\vartheta) = \left| \mathbf{I} - j2\vartheta ((\mathbf{M}_{1(k \times k)}) (\mathbf{M}_{0(k \times k)})^{-1} - \mathbf{I}) \right|^{-\frac{n}{2}}. \quad (28)$$

Путем дифференцирования (27), (28) найдем среднее значение статистики  $\eta$  для обеих проверяемых гипотез

$$m_{\eta_0} = n \text{Sp}(\mathbf{I} - (\mathbf{M}_{0(k \times k)}) (\mathbf{M}_{1(k \times k)})^{-1}), \quad (29)$$

$$m_{\eta_1} = n \text{Sp}(\mathbf{I} - (\mathbf{M}_{1(k \times k)}) (\mathbf{M}_{0(k \times k)})^{-1}),$$

$$\sigma_{\eta_0}^2 = 2n \text{Sp}(\mathbf{I} - (\mathbf{M}_{0(k \times k)}) (\mathbf{M}_{1(k \times k)})^{-1})^2,$$

$$\sigma_{\eta_1}^2 = 2n \text{Sp}(\mathbf{I} - (\mathbf{M}_{1(k \times k)}) (\mathbf{M}_{0(k \times k)})^{-1})^2.$$

Обозначим порог принятия решения символом  $C_{1-F}$ , величина порога  $C_{1-F}$  является решением трансцендентного уравнения [Фукунага, 1979]

$$F = 1 - \Phi \left( \frac{C_{1-F} - m_{\eta_0}}{\sigma_{\eta_0}} \right), \quad (30)$$

где  $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^x \exp^{-t^2/2} dt$  – интеграл вероятности. При этом вероятность правильного принятия решения

$$D = 1 - \Phi \left( \frac{C_{1-F} - m_{\eta_1}}{\sigma_{\eta_1}} \right). \quad (31)$$





Обозначим через  $\xi_\alpha - \alpha$  процентную точку отклонения (квантиль) нормального распределения вероятностей  $D$  и  $F$  и определим порог принятия решения  $C_{1-F} = \xi_{1-F} \sigma_{\eta_0} + m_{\eta_0}$ , где  $\xi_{1-F}$  – квантиль нормального распределения для заданной вероятности  $F$ .

Таким образом, процедура оценивания уровня порога принятия решения проводится на этапе обучения и сводится к получению оценок  $m_{\eta_0}$ ,  $\sigma_{\eta_0}^2$  с дальнейшим выбором квантиля нормального распределения для заданной вероятности  $F$ .

### Заключение

В результате проведенных научных исследований было разработано решающее правило обнаружения сигналов на фоне шумов в сверхширокополосных радиолокационных системах при субполосной обработке информации.

Решающее правило основано на параметрическом подходе, использующем оценки параметров распределения случайной величины и сводится к вычислению отношения правдоподобия и сравнении его с порогом. В качестве оценок были выбраны оценка первого начального момента (оценка математического ожидания) и второго центрального момента (дисперсии), в условиях Гауссовости (нормальности) распределения. В многомерном случае – это оценки вектора математического ожидания и ковариационной матрицы.

В качестве критерия принятия решения о наличии сигнала на фоне собственных шумов был выбран критерий Неймана – Пирсона, который обеспечивает максимальную вероятность правильного обнаружения сигнала при заданной вероятности ошибки первого рода (ложной тревоги). При этом нет необходимости учитывать априорные вероятности, а соответственно и платы за ошибки, которые на практике обычно неизвестны.

В качестве обучающей выборки для оценок используется выборка, получаемая при априорном отсутствии отраженного от объекта сигнала (выборка, полученная по собственным шумам).

При разработке решающего правила учитывался ряд особенностей, возникающих при субполосной обработке. В частности, в силу независимости частотных каналов оценка ковариационной матрицы, получаемая на этапе обучения, имеет диагональный вид с оценкой дисперсий уровня шумов в каналах. В общем случае их величина может быть не одинакова.

Разработана процедура оценки уровня порога принятия решения, которая проводится на этапе обучения. Для этого необходимо получить оценки отношения правдоподобия при априорном отсутствии сигнала и выбрать квантиль нормального распределения для заданной вероятности ошибки первого рода.

### Список литературы

- Бакулев П.А. 2004. Радиолокационные системы. Москва. Радиотехника: 320.
- Ботов М.И., Вяхирев В.А. 2013. Основы теории радиолокационных систем и комплексов. Под общ. ред. М.И. Ботова. Красноярск. Сибирский федеральный университет: 530.
- Важенин В.Г. и др. 2015. Полунатурное моделирование бортовых радиолокационных систем, работающих по земной поверхности. Под общ. ред. В. Г. Важенина. Екатеринбург. Изд-во Уральского ун-та: 208.
- Воскресенский Д.И. 2004. Активные фазированные антенные решетки. Под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. Москва. Радиотехника: 368.
- Колосовский Е.А. 2012. Устройства приема и обработки сигналов. 2-е изд. Москва. Горячая линия – Телеком: 456.
- Кошелев В.И., Сарычев В.Т., Шипилов С.Э., Якубов В.П. 2001. Оценивание информационных характеристик радиолокационных объектов при сверхширокополосном зондировании. Журнал радиоэлектроники № 5, электронный журнал, ISSN: 1684-1719.
- Кузьмин С.З. 2000. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. Киев. Издательство КВЦ: 428.

- Попов А.Н., Тетерин Д.П., Яшин А.Г., Харитонов А.Ю., Жилияков Е.Г., Олейник И.И. 2022. Субполосный способ радиолокационного обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. Описание изобретения к патенту RU 2765272 C1 27.01.2022.
- Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. 1986. Статистическая теория распознавания образов. Москва, Радио и связь: 264.
- Фукунага К. 1979. Введение в статистическую теорию распознавания образов. Москва. Наука: 368.
- Ширман Я.Д. 2007. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория: справочник. М. Радиотехника: 512.
- Barnon David K. 2013. Radar equations for modern radar. Artech house. Boston|London: 428.
- 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.
- Cherniakov Mikhail. 2008. Bistatic Radar: Emerging Technology. Edited by Mikhail Cherniakov. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: 394.
- Taylor, P.E. 2000. Ultra-wideband Radar Technology. Edited by James D. Taylor, P.E. CRC Press Boca Raton, London, New Work, Washington: 260.
- Zhilyakov E.G. 2015. Optimal subband methods for analyzing and synthesizing signals of finite duration. Automation and Telematics, 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.

### References

- Bakulev P.A. 2004. Radar systems. Moscow. Radio equipment: 320 (in Russian).
- Botov M.I., Vyakhirev V.A. 2013. Fundamentals of the theory of radar systems and complexes. Under the general editorship of M.I. Botov. Krasnoyarsk. Siberian Federal University: 530 (in Russian).
- Vazhenin V.G. et al. 2015. Semi-natural modeling of airborne radar systems operating on the Earth's surface. Under the general editorship of V. G. Vazhenin. Ekaterinburg. Ural University Publishing House: 208 (in Russian).
- Voskresensky D.I. 2004. Active phased array antennas. Edited by D.I. Voskresensky and A.I. Kanashchenkov. Moscow. Radio engineering: 368 (in Russian).
- Kolosovsky E.A. 2012. Signal reception and processing devices. 2nd ed. Moscow. Hotline–Telecom: 456 (in Russian).
- Koshelev V.I., Sarychev V.T., Shipilov S.E., Yakubov V.P. 2001. Evaluation of the information characteristics of radar objects during ultra-wide-field sensing. Journal of Radio Electronics No. 5, Electronic Journal, ISSN:1684-1719 (in Russian).
- Kuzmin S.Z. 2000. Digital radar. Introduction to the theory. Kyiv. KVITS Publishing House: 428 (in Russian).
- Popov A.N., Teterin D.P., Yashin A.G., Kharitonov A.Yu., Zhilyakov E.G., Oleynik I.I. 2022. A subband method for radar detection of small-sized unmanned aerial vehicles. Description of the invention to patent RU 2765272 C1 27.01.2022 (in Russian).
- Fomin Ya.A., Tarlovsky G.R. 1986. Statistical theory of pattern recognition. Moscow, Radio and Communications: 264 (in Russian).
- Fukunaga K. 1979. Introduction to the statistical theory of pattern recognition. Moscow. Science: 368 (in Russian).
- Shirman Ya.D. 2007. Radio electronic systems: Fundamentals of construction and theory: handbook. M. Radio Engineering: 512 (in Russian).
- Barnon David K. 2013. Radar equations for modern radar. Artech house. Boston|London: 428.
- 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.
- Cherniakov Mikhail. 2008. Bistatic Radar: Emerging Technology. Edited by Mikha Cherniakov. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: 394.



Taylor, P.E. 2000. Ultra-wideband Radar Technology. Edited by James D. Taylor, P.E. CRC Press Boca Raton, London, New York, Washington: 260.

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

**Орищук Сергей Григорьевич**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Акционерного общества «НПО» Электронное приборостроение», г. Москва, Россия

**Sergey G. Orishchuk**, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Joint-stock company «SPA» Electronic instrumentation», Moscow, 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

**Прохоренко Екатерина Ивановна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Eraterina I. Prokhorenko**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Головко Марина Викторовна**, ассистент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Marina V. Golovko**, Assistant of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

УДК 621.39

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-607-615

## Субполосная аппроксимация изображений при сжатии объемов битовых представлений

<sup>1</sup> Жилияков Е.Г., <sup>2</sup> Коськин А.В., <sup>3</sup> Лубков И.И., <sup>1</sup> Черноморец А.А.

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

<sup>2</sup> Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,  
ул. Комсомольская, д. 95, г. Орел, 302026, Россия

<sup>3</sup> ООО «Технопроект», ул. Корочанская, д. 132а, г. Белгород, 308009, Россия  
E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Изображения представляют собой важный инструмент информационных процессов, так как являются естественной для человека формой информационного обмена, непосредственно воспринимаемой органами чувств. Как правило, аппаратура, предназначенная для фиксации изображений, содержит много регистрирующих датчиков и достаточно большое количество двоичных разрядов для цифрового представления их значений. Вместе с тем в зависимости от целевого использования визуальной информации такой объем данных может быть избыточным, и возникает необходимость его уменьшения, особенно при удаленной передаче. Такое уменьшение битовых представлений визуальной информации принято именовать сжатием. Важность применения сжатия вызвала разработку соответствующих методов, среди которых наибольшее распространение получили JPEG и JPEG2000. Не умаляя их достоинств, все же отметим их недостаточную гибкость с позиций важности сохранения в восстанавливаемых аппроксимациях исходных изображений тех или иных свойств. В данной работе предлагается метод сжатия данных с сохранением в восстанавливаемых аппроксимациях спектров в заданных двумерных подобластях области пространственных частот, что принято именовать субполосной аппроксимацией.

**Ключевые слова:** изображения, аппроксимация при сжатии битовых представлений, двумерный субполосный анализ и синтез

**Для цитирования:** Жилияков Е.Г., Коськин А.В., Лубков И.И., Черноморец А.А. 2022. Субполосная аппроксимация изображений при сжатии объемов битовых представлений. Экономика. Информатика, 49(3): 607–615. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-607-615

## Images Subband Approximation in the Task of Bit Representations Volumes Compression

<sup>1</sup> Evgeniy G. Zhilyakov, <sup>2</sup> Aleksand V. Koskin, <sup>3</sup> Ilya I. Lubkov, <sup>1</sup> Andrey A. Chernomorets

<sup>1</sup> Belgorod National Research University, 85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

<sup>2</sup> Orel State University named after I.S. Turgenev, 95 Komsomolskaya St, Orel, 302026, Russia

<sup>3</sup> Tehnoproekt LLC, 132a Korochanskaya St, Belgorod, 308009, Russia

E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

**Abstract.** Images are an important tool of information processes, as they are a natural form of information exchange for a person, directly perceived by the senses. As a rule, the equipment intended for fixing images contains many recording sensors and a sufficiently large number of binary digits for the digital representation of their values. At the same time, depending on the intended use of visual information, such a volume of data may be excessive and there is a need to reduce it, especially when they are transmitted remotely. This reduction of bit representations of visual information is commonly referred to as compression. The importance of using compression has caused the development of appropriate methods, among which JPEG and JPEG2000 have become the most widespread. Without begging for their merits, we still note their lack of flexibility from the standpoint of the importance of preserving certain properties in the reconstructed



approximations of the original images. In this paper, we propose a method of data compression with preservation in the recoverable approximations of spectra in given two-dimensional subdomains of the spatial frequency domain, which is commonly referred to as subband. The results of the conducted comparative computational experiments illustrate the advantages of the proposed subband compression method of images bit representations over the currently most widely used JPEG2000 both in processing time and in the achieved visual quality of the reconstructed approximations.

**Keywords:** images, bit representation compression approximation, two-dimensional subband analysis and synthesis

**For citation:** Zhilyakov E.G., Koskin A.V., Lubkov I.I., Chernomorets A.A. 2022. Images Subband Approximation in the Task of Bit Representations Volumes Compression. Economics. Information technologies, 49(3): 607–615 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-607-615

## 1. Введение

Битовыми представлениями изображений называются определенным образом организованные наборы бит, которые позволяют воспроизвести изображения с использованием программно-аппаратных средств их визуализации. Именно используемая организация битовых представлений в основном определяет затраты ресурсов на их хранение и передачу по каналам связи. Исходный набор бит определяется двоичными представлениями чисел, отражающими уровни откликов датчиков на воздействующее на них электромагнитное излучение (пикселей). В рамках данной работы для простоты изложения речь идет об отдельных монохроматических кадрах съемок в оптическом диапазоне волн.

В настоящее время достаточно интенсивно осуществляется разработка и исследование таких способов преобразования исходных цифровых представлений пикселей изображений, которые максимально уменьшают объем сохраняемых бит (сжатие) при обеспечении возможности воспроизведения исходных изображений с допустимыми для решаемой задачи информационного обмена искажениями. В результате проводимых исследований создан ряд методов преобразования исходных двоичных представлений, в основе которых используются те или иные теоретические предпосылки (модели) [Радченко, 2002; Артюшенко, 2004; Гонсалес, 2012; Дворкович, 2012; Евсютин, 2013].

Легко понять, что в общем случае для достижения больших степеней сжатия изображений при обеспечении необходимого качества их дальнейшего воспроизведения необходимо использовать модели, адекватно отражающие свойства совокупности исходных пикселей, которые целесообразно считать двумерной функцией пространственных координат. Характерной чертой многих изображений является наличие квазипериодичности соответствующих функций, что позволяет говорить об адекватности использования методов анализа и синтеза Фурье в области пространственных частот. В качестве подтверждения справедливости такого вывода можно привести тот факт, что в настоящее время для сжатия изображений наиболее широко применяются форматы JPEG и JPEG2000, основанные на частотных представлениях. Наибольшую адекватность задаче сжатия демонстрируют теоретические основы формата JPEG2000, что порождает стремление к его совершенствованию [Авдеев, 2006; Кобелев, 2006; Умняшкин, 2006; Умняшкин, 2009; Крящев, 2011; Петров, 2013; Умняшкин, 2014]. Вместе с тем, используя частотные представления, можно предложить иной метод сжатия изображений, в некотором смысле более эффективный, чем JPEG2000. Разработке именно такого метода и посвящена данная работа.

## 2. Концептуальные основы метода сжатия изображений

В основе рассматриваемого подхода к сжатию изображений используется известный [Гонсалес, 2012; Дворкович, 2012] прием разложения их по ортогональным базисным векторам, частью проекций на которые с позиций решаемой прикладной задачи информационного

обмена допустимо пренебречь. Дальнейшее уменьшение объемов битовых представлений может быть достигнуто за счет низкоразрядного представления оставляемых проекций (квантования по уровню).

Уточним математическую формулировку этого процесса.

Пусть набор числовых значений пикселей изображения можно представить в виде, в общем случае, прямоугольной матрицы,

$$F = \{f_{ik}\}, i = 1, \dots, N; k = 1, \dots, M. \quad (1)$$

Если произвольные квадратные матрицы (штрих означает транспонирование)

$$Q = (\vec{q}_1 \dots \vec{q}_N), \vec{q}_i = (q_{i1}, \dots, q_{Ni})'; H = (\vec{h}_1 \dots \vec{h}_M), \vec{h}_i = (h_{i1}, \dots, h_{Mi})' \quad (2)$$

являются ортогональными, то есть выполняются условия [Стрелков, 2003; Кобелев, 2006]:

$$Q^* Q' = Q' Q = \text{diag}(1, \dots, 1); H^* H' = H' H = \text{diag}(1, \dots, 1), \quad (3)$$

где имеются в виду единичные матрицы соответствующей размерности, то справедливо представление,

$$F = QWH = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M w_{nm} \vec{q}_i \vec{h}_k, \quad (4)$$

если

$$W = Q' FH. \quad (5)$$

Элементы матрицы  $W = \{w_{nm}\}, n = 1, \dots, N; m = 1, \dots, M$  будем называть проекциями (1) на определенные в (4) матрицы единичного ранга.

Так как на основе сжатых данных необходимо обеспечить дальнейшее воспроизведение изображений, то базисные матрицы (3) должны определяться заранее. При этом важнейшим условием выбора базисов является возможность ограничения числа слагаемых в представлении (4), так чтобы воспроизводимое изображение

$$\hat{F} = \sum_{n=1}^{J_Q} \sum_{m=1}^{J_H} w_{nm} \vec{q}_i \vec{h}_k, \quad (6)$$

в том или ином смысле адекватно отражало свойства исходного.

Очевидно, что тогда в качестве оценки эффективности предлагаемой процедуры сжатия можно использовать отношение

$$t = N M d_f / J_Q J_H d_w, \quad (7)$$

где  $d_f$  и  $d_w$  – число двоичных разрядов в представлении исходных пикселей и элементов матрицы (5) соответственно.

Для дальнейшего уменьшения объемов битовых представлений целесообразно использовать обратимые кодирования, например, коды Хаффмана или арифметическое кодирование. Этот этап может дать дополнительное двукратное сжатие.

В рамках данной работы предлагается новый способ формирования матриц базисных векторов и принцип отбора их подмножеств для вычисления приближенных представлений вида (6).

### 3. Элементы субполосного анализа и синтеза изображений

Положим,

$$\Phi_F(z_1, z_2) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M f_{ik} \exp(-j(i-1)z_1) \exp(-j(k-1)z_2), \quad (8)$$

где

$$-\pi \leq z_1 < \pi; -\pi \leq z_2 < \pi. \quad (9)$$

В соответствии с равенством Парсеваля [Хургин, 1971] введем понятие части энергии изображения,



$$P_{\Omega}(F) = \int_{z_1 \in V_1} \int_{z_2 \in V_2} |\Phi_F(z_1, z_2)|^2 dz_1 dz_2 / 4\pi^2, \quad (10)$$

приходящейся на двумерную подобласть области пространственных частот,

$$\Omega = V_1 \cap V_2, \quad (11)$$

которая является пересечением ортогональных к осям координат области пространственных частот линий границ соответствующих одномерных субполос,

$$V_1 = (-v_{21}, -v_{11}) \cup (v_{11}, v_{21}); \quad (12)$$

$$V_2 = (-v_{22}, -v_{12}) \cup (v_{12}, v_{22}). \quad (13)$$

Из (9) следует, что для границ субполос должны выполняться неравенства,

$$0 \leq v_{11} < v_{21} \leq \pi, \quad 0 \leq v_{12} < v_{22} \leq \pi. \quad (14)$$

Если в представление (10) подставить определение (8), то после некоторых преобразований можно получить следующее соотношение,

$$P_{\Omega}(F) = tr(AFBF'), \quad (15)$$

где

$$A = \{a_{ik}\}, i, k = 1, \dots, N; \quad B = \{b_{ik}\}, i, k = 1, \dots, M;$$

$$a_{ik} = (\sin(v_{21}(i-r)) - \sin(v_{11}(i-r)))/(\pi(i-r)), a_{ii} = (v_{21} - v_{11})/\pi; \quad (16)$$

$$b_{ik} = (\sin(v_{22}(i-r)) - \sin(v_{12}(i-r)))/(\pi(i-r)), b_{ii} = (v_{22} - v_{12})/\pi, \quad (17)$$

а символ  $tr$  означает след матрицы.

Представляется естественным матрицы с элементами вида (16) и (17) называть субполосными. Они обладают рядом интересных свойств [Жилияков, 2009; Жилияков, 2015], которые представляют интерес с позиций сжатия изображений. В частности, их можно представить в виде

$$A = QLQ', \quad B = HSH', \quad (18)$$

где имеются в виду матрицы неотрицательных собственных чисел,

$$L = diag(\lambda_1, \dots, \lambda_N); \quad S = diag(s_1, \dots, s_M); \quad (19)$$

и ортонормальных собственных векторов,

$$AQ = QL, \quad BH = HS, \quad (20)$$

удовлетворяющих соотношениям вида (3).

В дальнейшем полагаем, что собственные векторы упорядочены по убыванию значений соответствующих собственных чисел, которые удовлетворяют неравенствам [Хургин, 1971],

$$1 \geq \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \lambda_N \geq 0; \quad 1 \geq s_1 \geq s_2 \geq \dots s_M \geq 0. \quad (21)$$

Имея в виду представления (4) и (18) для матрицы справа в скобках (15) можно получить равенство

$$AFBF' = QLWSW'Q'. \quad (22)$$

Отсюда ввиду ортогонального подобия следует равенство [Гантмахер, 1967; Хорн, 1989]

$$tr(AFBF') = tr(LWSW') = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M \lambda_i s_k w_{ik}^2. \quad (23)$$

Пусть теперь имеет место

$$F = X - Y = QRH' - QGH', \quad (24)$$

так что

$$w_{ik} = r_{ik} - g_{ik}. \quad (25)$$

Тогда (23) можно интерпретировать как субполосную меру близости изображений

$$T_{\Omega}(X, Y) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M \lambda_i s_k (r_{ik} - g_{ik})^2. \quad (26)$$

Отметим, что эта мера определяет среднеквадратическое отклонение двумерных спектров трансформант Фурье сравниваемых изображений в рассматриваемой двумерной подобласти области определения.

Важно отметить [Хургин, 1971], что часть собственных чисел субполосных матриц могут быть пренебрежимо малы. Иными словами, можно положить,

$$\lambda_i \approx 0, i > J_A, s_i \approx 0, i > J_B, \quad (27)$$

где

$$J_A = [Na_{ii}] + 4, \quad (28)$$

$$J_B = [Mb_{kk}] + 4. \quad (29)$$

В соотношениях (28) и (29) квадратные скобки означают целую часть числа. Ясно, что эти соотношения могут применяться только тогда, когда их правые части меньше исходных размерностей субполосных матриц.

В связи с этим при выполнении равенств

$$g_{ik} = r_{ik}, i = 1, \dots, J_A; k = 1, \dots, J_B \quad (30)$$

субполосная мера близости сравниваемых изображений (26) становится близкой к нулю.

Иными словами, с позиций такой меры сравниваемые изображения можно считать идентичными, так как одинаковы фрагменты их двумерных спектров в исходной двумерной подобласти.

Таким образом, можно сформулировать основной принцип сжатия изображений на основе субполосных представлений.

Если определена двумерная подобласть плоскости пространственных частот вида (11), в которой целесообразно сохранить фрагменты двумерного спектра исходного изображения  $X$ , то для сжатого изображения необходимо использовать следующее представление:

$$\hat{X} = \sum_{i=1}^{J_A} \sum_{k=1}^{J_B} r_{ik} \vec{q}_i \vec{h}_k, \quad (31)$$

где

$$R = \{r_{ik}\} = Q' X H, i = 1, \dots, N; k = 1, \dots, M, \quad (32)$$

а число слагаемых в (31) определяются соотношениями (28) и (29).

Целесообразно отметить еще один эффект. Он заключается в том, что используемые в (31) элементы матрицы (32) сохраняют информацию о спектре исходного изображения не только в выбранной подобласти плоскости нормированных частот, но и в некоторой её окрестности. Это является следствием соотношений [Хургин, 1971],

$$\lambda_i = \int_{z \in V_1} |G_i(z)|^2 / 2\pi; s_{ik} = \int_{z \in V_1} |D_k(z)|^2 / 2\pi, \quad (33)$$

где подынтегральные функции представляют собой квадраты модулей спектров собственных векторов субполосных матриц, соответствующих их собственным числам.

Эти соотношения показывают, что соответствующие малым собственным числам определяемые соотношением (32) скалярные произведения спектров столбцов/строк матрицы  $X$  со спектрами собственных векторов (как это следует из теории Фурье [Хорн, 1989]) будут определяться окрестностями субполос  $V_1$  и  $V_2$ .

Ясно, что для уменьшения трудоемкости целесообразно вычислять только те элементы матрицы (32), которые входят в представление (32).

Как уже отмечалось во втором разделе работы, дальнейшие действия связаны с использованием грубого квантования по уровню оставляемых элементов матрицы (32) и применением обратимых энтропийных кодирований. При этом в соответствии с (28) и (29) соотношению для коэффициента сжатия (7) можно придать следующий вид:

$$t \approx d_x / d_r / (a_{ii} b_{kk} + 4(a_{ii} / M + b_{kk} / N) + 16 / NM). \quad (34)$$



#### 4. Вычислительные эксперименты

Ниже приводятся визуальные иллюстрации результатов вычислительных экспериментов по сжатию трех типов изображений с использованием JPEG2000 и предложенного субполосного метода (рис. 1, рис. 2). Термин «субполосная аппроксимация» отмечает тот факт, что при восстановлении используется только соответствующая субполосная компонента.

В качестве двумерной подобласти (12), (13) использовался квадрат, охватывающий начало координат области пространственных частот с длиной стороны  $\pi/10$ . Кроме того, коэффициенты разложения в (32) подвергались грубому квантованию с тремя разрядами.



Рис. 1. Сравнение результатов сжатия с использованием предложенного субполосного метода и JPEG2000 при степени сжатия 250

Fig. 1. Comparison of compression results using the proposed subband method and JPEG2000 with a compression ratio of 250

Очевидно, что предлагаемый подход даже при больших степенях сжатия позволяет сохранить детали изображаемых объектов, тогда как JPEG2000 уже при сжатии в 250 раз делает их слабо различимыми.

Отметим также, что для изображений из  $5000 \times 5000$  пикселей субполосная аппроксимация вычисляется в 8 раз быстрее, чем аппроксимация JPEG2000. Это важно при реализации текущего контроля на основе съемок с летательных аппаратов как с позиций количества получаемых аппроксимаций, так и с позиций экономии затрат вычислительных ресурсов.



Рис. 2. Сравнение результатов сжатия с использованием предложенного субполосного метода и JPEG2000 и при степени сжатия 1000

Fig. 2. Comparison of compression results using the proposed subband method and JPEG2000 with a compression ratio of 1000

### Заключение

В работе предложен новый метод преобразования при сжатии битовых представлений визуальной информации, содержащейся в изображениях. В основе метода используется субполосная методология, позволяющая достигать точного совпадения в заданных подобластях области пространственных частот двумерных отрезков спектров Фурье исходного изображения и получаемой при восстановлении его аппроксимации. В этом смысле в отличие от используемых методов сжатия разработанный метод является оптимальным.

Результаты проведенных сравнительных вычислительных экспериментов иллюстрируют преимущества предлагаемого субполосного метода сжатия битовых представлений изображений перед наиболее широко используемым в настоящее время JPEG2000 как по времени обработки, так и по достигаемому визуальному качеству восстанавливаемых аппроксимаций.

### Список литературы

Авдеев О.В., Чобану М.К. 2006. Сжатие изображений с помощью частичной сортировки вейвлет-коэффициентов. Цифровая обработка сигналов, № 2.



- Артюшенко В.М., Шелухин О.И., Афонин М.Ю. 2004. Цифровое сжатие видеoinформации и звука. М.: Дашков и К.
- Гантмахер Ф.Р. 1967. Теория матриц. М.: Наука.
- Гонсалес Р., Вудс Р. 2012. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера.
- Дворкович В.П., Дворкович А.В. 2012. Цифровые видеoinформационные системы (теория и практика). М.: Техносфера.
- Евсютин О.О., Шелупанов А.А., Россосhek С.К., Мещеряков Р.В. 2013. Сжатие цифровых изображений. М.: Горячая линия – Телеком.
- Жиляков Е.Г., Черноморец А.А. 2009. Вариационные алгоритмы анализа и обработки изображений на основе частотных представлений: Белгород: Изд-во ГИК. 146 с.
- Жиляков Е.Г. 2015. Оптимальные субполосные методы анализа и синтеза сигналов конечной длительности. Автомат. и телемех., 4: 51–66.
- Кобелев В.Ю., Приоров А.Л. 2006. Применение неразделимых оптимизированных вейвлет-фильтров в задачах сжатия изображений. Цифровая обработка сигналов, № 2.
- Крящев В.В., Бекренев В.А., Соловьев В.Е., Никитин А.Е. 2011. Улучшение качества JPEG2000-изображений на основе модифицированного билатерального фильтра. Цифровая обработка сигналов, № 3.
- Петров Е.П., Харина Н.Л., Сухих П.Н. 2015. Метод сжатия цифровых изображений без спектральных преобразований. Цифровая обработка сигналов, № 3.
- Радченко Ю.С. 2002. Алгоритм сжатия изображений на основе полиномиальных преобразований (алгоритм GDCT). Цифровая обработка сигналов, № 1.
- Стрелков Ф.В., Умняшкин С.В. 2003. Контекстное кодирование коэффициентов дискретного косинусного преобразования (ДКП) в JPEG-подобной схеме компрессии. Цифровая обработка сигналов, № 2.
- Умняшкин С.В., Коплович Д.М., Черкасов И.В. 2006. Об использовании контекстного векторного квантования в области дискретных вейвлет-преобразований для компрессии изображений. Цифровая обработка сигналов, № 2.
- Умняшкин С.В., Курина В.В. 2009. Алгоритм сжатия изображений на основе дискретного псевдокосинусного преобразования. Цифровая обработка сигналов, № 3.
- Умняшкин С.В., Гизятуллин Р.Р. 2014. Сжатие изображений на основе блочной декомпозиции в области пакетного вейвлет-преобразования. Цифровая обработка сигналов, № 1.
- Хорн Р., Джонстон Ч. 1989. Матричный анализ. М: Мир.
- Хургин Я.И., Яковлев В.П. 1971. Фinitные функции в физике и технике. М.: Наука.

## References

- Avdeev O.V., Chobanu M.K. 2006. Image compression using partial sorting of wavelet coefficients. Digital signal processing, No. 2.
- Artyushenko V.M., Shelukhin O.I., Afonin M.Yu. 2004. Digital compression of video information and sound. M.: Dashkov and K.
- Gantmacher F.R. 1967. Matrix Theory M.: Nauka.
- Gonzalez R., Woods R. 2012. Digital image processing. Moscow: Technosphere.
- Dvorkovich V.P., Dvorkovich A.V. 2012. Digital video information systems (theory and practice). Moscow: Technosphere.
- Evsyutin O.O., Shelupanov A.A., Rossoshek S.K., Meshcheryakov R.V. 2013. Compression of digital images. M.: Hotline – Telecom.
- Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A. 2009. Variational algorithms for image analysis and processing based on frequency representations": Belgorod: Publishing House of GaK. 146 p.
- Zhilyakov E.G. 2015. Optimal subband methods of analysis and synthesis of signals of finite duration. Automatic. and Telemech., 4: 51–66.
- Kobelev V.Yu., Priorov A.L. 2006. Application of inseparable optimized wavelet filters in image compression problems. Digital signal processing, No. 2.
- Kryashchev V.V., Bekrenov V.A., Soloviev V.E., Nikitin A.E. 2011. Improving the quality of JPEG2000 images based on a modified bilateral filter. Digital signal processing, No. 3.
- Petrov E.P., Kharina N.L., Sukhoi P.N. 2015. Digital image compression method without spectral transformations. Digital signal processing, No. 3.

- Radchenko Y.S. 2002. Image compression algorithm based on polynomial transformations (GDCT algorithm). Digital signal processing, No. 1.
- Strelkov F.V., Umnyashkin S.V. 2003. Contextual encoding of discrete cosine transform (DCT) coefficients in a JPEG-like compression scheme. Digital Signal processing, No. 2.
- Umnyashkin S.V., Koptovich D.M., Cherkasov I.V. 2006. On the use of contextual vector quantization in the field of discrete wavelet transformations for image compression. Digital signal processing, No. 2.
- Umnyashkin S.V., Kurina V.V. 2009. Image compression algorithm based on discrete pseudo-cosine transformation. Digital signal processing, No. 3.
- Umnyashkin S.V., Gizyatullin R.R. 2014. Image compression based on block decomposition in the field of packet wavelet transformation. Digital signal processing, No. 1.
- Horn R., Johnston Ch. 1989. Matrix analysis. M: Mir.
- Hurgin Ya.I., Yakovlev V.P. 1971. Finite functions in physics and engineering. M.: Nauka.

**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

**Жилияков Евгений Георгиевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Evgeniy G. Zhilyakov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

**Коськин Александр Васильевич**, доктор технических наук, профессор, директор Департамента информатизации и перспективного развития, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел, Россия

**Aleksand V. Koskin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Department of Informatization and Perspective Development, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

**Лубков Илья Игоревич**, директор ООО «Технопроект», Белгород, Россия

**Pyia I. Lubkov**, Director Tehnoprojekt LLC, 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, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia



УДК 621.391

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-616-629

## Модели прогнозирования среднего расстояния между узлами летающей беспроводной самоорганизующейся сети

<sup>1</sup> Шабиб А.Х.Т., <sup>2</sup> Лихошерстов Р.В., <sup>2</sup> Польщиков К.А.

<sup>1</sup> Профессионально-техническая школа г. Дивания, Ирак, 58001, г. Дивания, ул. А.Л. Фурата, 198

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: husseinert@gmail.com, oaqwater@yandex.ru, polshchikov@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Представлены результаты исследования по разработке моделей прогнозирования среднего расстояния между узлами летающей беспроводной самоорганизующейся сети. Актуальность создания средств, позволяющих с приемлемой точностью прогнозировать величину среднего расстояния между передающими и приемными узлами сети, обоснована возможностью с их использованием осуществлять выбор и установку на узлах сети адекватного значения мощности передаваемого сигнала. Решение этой задачи в конечном итоге ориентировано на обеспечение требуемого качества видеотрансляции на базе летающей самоорганизующейся сети, используемой для осуществления мониторинга территорий при проведении поисково-спасательных мероприятий. Показано, что применение регрессионных и авторегрессионных моделей дает неприемлемые отклонения результатов прогноза от реальных данных, что приводит к уменьшению вероятности требуемого качества видеотрансляции по сети до недопустимо низкого уровня. Для прогнозирования среднего расстояния между передающими и приемными узлами предложена модель на базе нечеткого вывода. Автоматический подбор неизвестных значений параметров нечеткого вывода обеспечивается на основе нейросетевой настройки в течение многократных обучающих циклов. Полученные результаты исследования показали, что применение модели нечеткого вывода позволяет получить приемлемую точность прогнозирования величины среднего расстояния между узлами летающей самоорганизующейся сети.

**Ключевые слова:** летающая беспроводная самоорганизующаяся сеть, прогнозирование среднего расстояния между узлами, регрессионные и авторегрессионные модели, нечеткий вывод, нейросетевое обучение

**Для цитирования:** Шабиб А.Х.Т., Лихошерстов Р.В., Польщиков К.А. 2022. Модели прогнозирования среднего расстояния между узлами летающей беспроводной самоорганизующейся сети. Экономика. Информатика, 49(3): 616–629. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-616-629

---

## Prediction Models of the Average Distance Between Nodes of a Flying Ad Hoc Network

<sup>1</sup> Alateewe H.T. Shabeeb, <sup>2</sup> Rodion V. Likhosherstov, <sup>2</sup> Konstantin A. Polshchikov

<sup>1</sup> Diwanyia Vocational Secondary School, 198 A.L. Furat St, Diwanyia City, 58001, Iraq

<sup>2</sup> Belgorod National Research University, 85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: husseinert@gmail.com, oaqwater@yandex.ru, polshchikov@bsu.edu.ru

**Abstract.** The results of a study on the development of models for predicting the average distance between the nodes of a flying ad hoc network are presented. The relevance of creating tools that allow predicting the average distance between transmitting and receiving network nodes with acceptable accuracy is justified by the possibility of using them to select and set an adequate value of the transmitted signal power at the network nodes. The solution to this problem is ultimately focused on ensuring the required quality of video broadcasting based on a flying ad hoc network used to monitor territories during search and rescue

operations. It is shown that the use of regression and autoregression models gives unacceptable deviations of the forecast results from real data, which leads to a decrease in the probability of the required quality of video broadcast over the network to an unacceptably low level. To predict the average distance between transmitting and receiving nodes, a model based on fuzzy inference is proposed. Automatic selection of unknown values of fuzzy inference parameters is provided on the basis of neural network tuning during multiple training cycles. The obtained results of the study showed that the use of the fuzzy inference model makes it possible to obtain an acceptable accuracy in predicting the average distance between the nodes of a flying ad hoc network.

**Keywords:** flying ad hoc network, prediction of average distance between nodes, regression and autoregression models, fuzzy inference, neural network learning

**For citation:** Shabeeb A.H.T., Likhosherstov R.V., Polshchikov K.A. 2022. Prediction models of the average distance between nodes of a flying ad hoc network. Economics. Information technologies, 49(3): 616–629 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-616-629

## Введение

Летающая самоорганизующаяся сеть (Flying Ad hoc NETwork, FANET), функционирующая с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и наземных маломощных приемо-передающих узлов связи, является перспективным средством для видеомониторинга территорий, проводимого при выполнении поисково-спасательных операций [Pandey et al., 2019; Rohi, Ofualagba, 2020]. Для обеспечения эффективного видеомониторинга требуется высокое качество трансляции информационных потоков на основе пакетной передачи. Видеоинформацию, снимаемую камерами БПЛА, в реальном времени необходимо передавать по сети на диспетчерский центр (пункт управления спасательными командами) для визуального обнаружения пострадавших и соответствующего оперативного реагирования. Анализ показал, что вероятность обеспечения требуемого качества видеотрансляции по сети FANET зависит от устанавливаемой на передающих модулях мощности передаваемых сигналов. Установление недопустимо низкого уровня мощности приводит к росту потерь пакетов и снижению качества видеотрансляции, вследствие чего растёт риск необнаружения нуждающихся в помощи лиц. Напротив, чрезмерное увеличение мощности передаваемых сигналов чревато неоправданно высоким уровнем энергопотребления ad-hoc-узлов и уменьшением длительности их непрерывной работы (без дополнительной подзарядки). Экономия энергозатрат особенно актуальна при использовании на отдельных участках сети неподвижных сенсорных модулей связи, снабжённых автономными аккумуляторными батареями.

Проблемам повышения качества связи и оптимизации энергопотребления в беспроводных самоорганизующихся сетях посвящено значительное число публикаций [Konstantinov et al., 2017a; Polshchykov et al., 2017; Polshchykov et al., 2018; Khan et al., 2020; Polshchykov et al., 2020a; Albu-Salih, Khudhair, 2021; Da Costa et al., 2021; Polshchykov et al., 2021]. В работе [Джамил и др., 2022] представлены выражения, позволяющие 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. При этом выбор и установка значения мощности передаваемого сигнала осуществляется исходя из того, что предполагается известной величина среднего расстояния между передающим и приемным узлами FANET в текущем временном интервале. На самом деле в текущем временном интервале имеются данные лишь о том, какие значения величина среднего расстояния между сетевыми узлами принимала в прошедшие интервалы. Для предсказания (экстраполяции) с учетом располагаемых данных о значениях этой величины в прошлом, прежде всего, потребуется обосновать выбор рекомендуемой модели прогнозирования временных рядов.



Цель статьи – обоснование и разработка модели, позволяющей с приемлемой точностью прогнозировать величину среднего расстояния между передающими и приемными узлами FANET.

### Разработка регрессионной модели прогнозирования

В ходе экспериментальных исследований получены эмпирические данные о значениях, которые принимала величина среднего расстояния между передающими и приемными узлами FANET в течение определенного числа интервалов наблюдения. В качестве примера в таблице 1 представлен фрагмент таких данных. Величина среднего расстояния между передающими и приемными узлами FANET на интервале наблюдения номер  $t$  обозначена  $d_t$ .

Таблица 1  
Table 1

Фрагмент эмпирических данных  
Fragment of empirical data

$t$	$d_t$	$t$	$d_t$	$t$	$d_t$
...	...	809	482	818	488
801	480	810	486	819	497
802	481	811	489	820	500
803	484	812	494	821	501
804	484	813	495	822	498
805	485	814	494	823	497
806	485	815	490	824	491
807	483	816	483	...	...
808	480	817	483	...	...

С использованием имеющихся эмпирических данных требуется построить модель, с помощью которой можно с удовлетворительной точностью прогнозировать величину  $d_t$  на основе её известных предшествующих значений  $d_{t-1}$ ,  $d_{t-2}$  и т. д.

Классическим аппаратом аппроксимации являются регрессионные модели. В данном случае уместно построить однофакторную регрессионную модель следующего вида:

$$\hat{d}_t = b_0 + b_1 t, \quad (1)$$

где  $b_0$  и  $b_1$  – коэффициенты линейной регрессии.

Коэффициенты регрессии можно вычислить на основе метода наименьших квадратов [Вентцель, 2006]:

$$b_1 = \frac{\delta_1 - \bar{t} \bar{d}}{\delta_2 - (\bar{t})^2}, \quad (2)$$

$$b_0 = \bar{d} - b_1 \bar{t}, \quad (3)$$

где  $\bar{t}$  и  $\bar{d}$  – средние значения величин  $t$  и  $d$  соответственно;  $\delta_1$  и  $\delta_2$  – статистические моменты.

Средние значения вычисляются по формулам:

$$\bar{t} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T t, \quad (4)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T d_t, \quad (5)$$

где  $T$  – число учитываемых интервалов наблюдения.

Статистические моменты вычисляются с помощью выражений:

$$\delta_1 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T t d_t, \quad (6)$$

$$\delta_2 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T t^2. \quad (7)$$

С использованием выражений (1)–(7) вычислены коэффициенты регрессии для имеющихся эмпирических данных, в результате получена следующая аппроксимирующая модель:

$$\hat{d}_t = 479,19 + 0,789t. \quad (8)$$

Прямая регрессии, описываемая зависимостью (8), представлена на рисунке 1 пунктирной линией совместно с кривой, построенной по точкам, соответствующим эмпирическим данным таблицы 1.

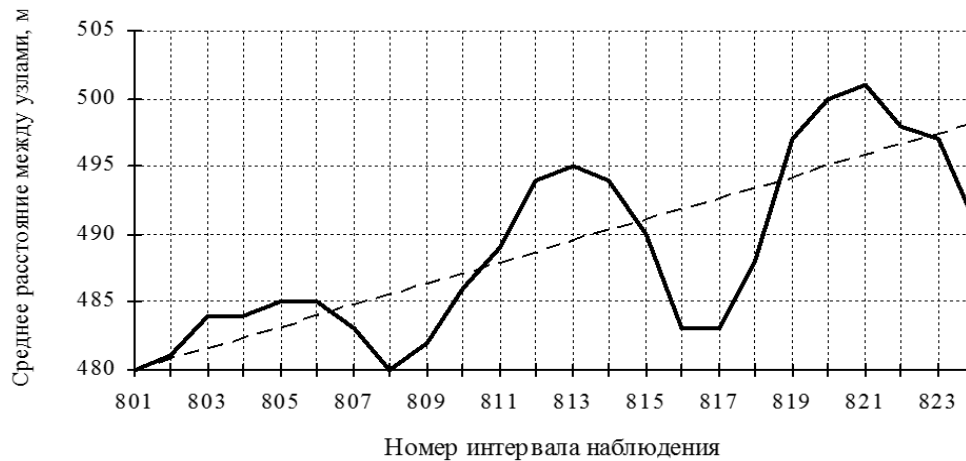


Рис. 1. Результаты аппроксимации с помощью регрессионной модели  
 Fig. 1. Approximation results using a regression model

Проведен статистический анализ отклонений результатов прогнозирования от эмпирических данных. Значения вышеуказанных отклонений вычислялись по формуле:

$$\Delta_t = |d_t - \hat{d}_t|. \quad (9)$$

Фрагмент массива отклонений, вычисленных по формуле (9) для результатов прогнозирования на основе регрессионной модели, представлен в таблице 2.

Доверительные границы (слева и справа) оценки математического ожидания отклонения результатов прогнозирования от эмпирических данных при доверительной вероятности  $\varphi$  вычислялись по формулам [Вентцель, 2006]:

$$\tilde{m}_1 = \tilde{m} - \varepsilon_\varphi \sigma_{\tilde{m}}, \quad (10)$$

$$\tilde{m}_2 = \tilde{m} + \varepsilon_\varphi \sigma_{\tilde{m}}, \quad (11)$$

где  $\tilde{m}$  – оценка математического ожидания отклонения результатов прогнозирования от эмпирических данных;  $\sigma_{\tilde{m}}$  – среднее квадратическое отклонение оценки  $\tilde{m}$ ;  $\varepsilon_\varphi$  – коэффициент.

Оценка математического ожидания отклонения результатов прогнозирования от эмпирических данных и среднее квадратическое отклонение этой оценки вычислялись с помощью выражений:





$$\tilde{m} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \Delta_t, \quad (12)$$

$$\sigma_{\tilde{m}} = \sqrt{\frac{\tilde{D}}{T}}, \quad (13)$$

где  $\tilde{D}$  – оценка дисперсии отклонения результатов прогнозирования от эмпирических данных.

Таблица 2  
Table 2

Фрагмент массива отклонений результатов прогнозирования на основе регрессионной модели  
 Fragment of an array of deviations of forecasting results based on a regression model

$t$	$\Delta_t$	$t$	$\Delta_t$	$t$	$\Delta_t$
...	...	809	4,287	818	5,383
801	0,022	810	1,075	819	2,828
802	0,233	811	1,136	820	5,040
803	2,445	812	5,348	821	5,146
804	1,656	813	5,559	822	2,251
805	1,868	814	3,771	823	0,326
806	1,079	815	1,018	824	7,115
807	1,709	816	8,806	...	...
808	5,498	817	9,595	...	...

Значения величин  $\tilde{D}$  и  $\varepsilon_\varphi$  вычислялись по формулам:

$$\tilde{D} = \frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T (\Delta_t - \tilde{m})^2. \quad (14)$$

$$\varepsilon_\varphi = \arg \Phi^* \left( \frac{1+\varphi}{2} \right), \quad (15)$$

где  $\arg \Phi^*(...)$  – функция, обратная нормальной функции распределения случайной величины [Вентцель, 2006].

Результаты вычислений по формулам (10)–(15) показали, что при доверительной вероятности  $\varphi = 0,95$  усредненное отклонение прогнозных значений от эмпирических данных величины среднего расстояния между передающими и приемными узлами FANET находится в пределах от 2,34 м до 4,53 м. Исследования показали, что аппроксимация на основе регрессионной модели дает такие отклонения результатов прогноза от эмпирических данных, которые являются не приемлемыми, т.к. ошибка прогнозирования на 4,53 м приводит к снижению вероятности требуемого качества видеотрансляции по сети FANET с уровня 0,95 до недопустимого уровня 0,88. Приемлемой с точки зрения точности аппроксимации можно считать модель, которая дает результаты с ошибкой прогнозирования, не превышающей (1,0–1,5) м.

### Разработка авторегрессионных моделей прогнозирования

Другим распространенным аппаратом аппроксимации временных рядов являются авторегрессионные модели, в соответствии с которыми прогнозное значение  $\hat{d}_t$  в интервале наблюдения номер  $t$  вычисляется по формуле:

$$\hat{d}_t = a_0 + a_1 d_{t-1} + a_2 d_{t-2} + \dots + a_n d_{t-n}, \quad (16)$$

где  $a_0, a_1, \dots, a_n$  – коэффициенты авторегрессии;  $n$  – порядок авторегрессионной модели.

Проведенные исследования показали, что среди авторегрессионных моделей наилучшие результаты прогнозирования величины среднего расстояния между передающими и приемными узлами FANET достигаются с помощью применения модели пятого порядка. Коэффициенты авторегрессии для имеющихся эмпирических данных вычислены с помощью программного пакета «Анализ данных» приложения «Excel», в результате получена следующая аппроксимирующая модель:

$$\hat{d}_t = -14,413 + 1,449d_{t-1} - 0,559d_{t-2} - 0,310d_{t-3} + 0,216d_{t-4} + 0,235d_{t-5}. \quad (17)$$

Линия авторегрессии, описываемая зависимостью (17), представлена пунктиром на рисунке 2 совместно с кривой, построенной по точкам, соответствующим эмпирическим данным таблицы 1.



Рис. 2. Результаты аппроксимации с помощью авторегрессионной модели  
 Fig. 2. Approximation results using an autoregressive model

Проведен статистический анализ отклонений результатов прогнозирования от эмпирических данных. Фрагмент массива отклонений, вычисленных по формуле (9) для результатов прогнозирования на основе авторегрессионной модели пятого порядка, представлен в таблице 3.

Таблица 3  
 Table 3

Фрагмент массива отклонений результатов прогнозирования на основе авторегрессионной модели  
 Fragment of an array of deviations of forecasting results based on an autoregression model

$t$	$\Delta_t$	$t$	$\Delta_t$
...	...	815	1,018
806	1,079	816	8,806
807	1,709	817	9,595
808	5,498	818	5,383
809	4,287	819	2,828
810	1,075	820	5,040
811	1,136	821	5,146
812	5,348	822	2,251
813	5,559	823	0,326
814	3,771	...	...



Результаты вычислений по формулам (10)–(15) показали, что при доверительной вероятности  $\varphi = 0,95$  среднее отклонение прогнозных значений  $\hat{d}_t$  от соответствующих эмпирических данных  $d_t$  находится в пределах от 3,12 м до 5,50 м. Такие результаты прогнозирования уступают представленным выше результатам экстраполяции, полученным с использованием однофакторной регрессионной модели. Следовательно, применение авторегрессионных моделей для прогнозирования величины среднего расстояния между передающими и приемными узлами FANET так же нецелесообразно.

### Разработка модели прогнозирования на основе нечеткого вывода

В последние годы для решения задач прогнозирования успешно предлагаются научно-технические решения, основанные на применении так называемых средств искусственного интеллекта (нейронных сетей, нечеткой логики и т. п.) [Konstantinov et al., 2017b; Pilato et al., 2019; Polshchukov et al., 2019; Bukhari et al., 2020; Tu, Li, 2020; Velikanova et al., 2021]. Это дает основания считать вполне оправданной попытку применить подобный аппарат для прогнозирования величины среднего расстояния между передающими и приемными узлами FANET. В этих целях авторами данной статьи разработана система прогнозирования, входными переменными которой являются  $d_{t-1}$ ,  $d_{t-2}$  и  $d_{t-3}$ , т. е. величины среднего расстояния между узлами в трех предыдущих интервалах наблюдения, а выходной переменной является  $\hat{d}_t$ , т. е. прогнозное значение среднего расстояния в текущем интервале. Функционирование системы основано на моделях, использующих базу нечетких правил следующего вида [Takagi, Sugeno, 1985]:

$$\text{if } (d_{t-3} = d_{t-3}^+) \text{ and } (d_{t-2} = d_{t-2}^+) \text{ and } (d_{t-1} = d_{t-1}^+) \text{ then } (\hat{d}_t = r_1), \quad (18)$$

$$\text{if } (d_{t-3} = d_{t-3}^+) \text{ and } (d_{t-2} = d_{t-2}^+) \text{ and } (d_{t-1} = d_{t-1}^-) \text{ then } (\hat{d}_t = r_2), \quad (19)$$

$$\text{if } (d_{t-3} = d_{t-3}^+) \text{ and } (d_{t-2} = d_{t-2}^-) \text{ and } (d_{t-1} = d_{t-1}^+) \text{ then } (\hat{d}_t = r_3), \quad (20)$$

$$\text{if } (d_{t-3} = d_{t-3}^+) \text{ and } (d_{t-2} = d_{t-2}^-) \text{ and } (d_{t-1} = d_{t-1}^-) \text{ then } (\hat{d}_t = r_4), \quad (21)$$

$$\text{if } (d_{t-3} = d_{t-3}^-) \text{ and } (d_{t-2} = d_{t-2}^+) \text{ and } (d_{t-1} = d_{t-1}^+) \text{ then } (\hat{d}_t = r_5), \quad (22)$$

$$\text{if } (d_{t-3} = d_{t-3}^-) \text{ and } (d_{t-2} = d_{t-2}^+) \text{ and } (d_{t-1} = d_{t-1}^-) \text{ then } (\hat{d}_t = r_6), \quad (23)$$

$$\text{if } (d_{t-3} = d_{t-3}^-) \text{ and } (d_{t-2} = d_{t-2}^-) \text{ and } (d_{t-1} = d_{t-1}^+) \text{ then } (\hat{d}_t = r_7), \quad (24)$$

$$\text{if } (d_{t-3} = d_{t-3}^-) \text{ and } (d_{t-2} = d_{t-2}^-) \text{ and } (d_{t-1} = d_{t-1}^-) \text{ then } (\hat{d}_t = r_8), \quad (25)$$

где  $d_{t-3}^+$  – нечеткое множество «высокое значение  $d_{t-3}$ »;  $d_{t-3}^-$  – нечеткое множество «низкое значение  $d_{t-3}$ »;  $d_{t-2}^+$  – нечеткое множество «высокое значение  $d_{t-2}$ »;  $d_{t-2}^-$  – нечеткое множество «низкое значение  $d_{t-2}$ »;  $d_{t-1}^+$  – нечеткое множество «высокое значение  $d_{t-1}$ »;  $d_{t-1}^-$  – нечеткое множество «низкое значение  $d_{t-1}$ »;  $r_1, r_2, \dots, r_8$  – значения индивидуальных выводов нечетких правил.

Для решения многих задач успешно применяются линейные Z-образные и S-образные функции принадлежности [Polshchukov et al., 2020b; Агузумцян и др., 2021], которые использованы и в созданной системе прогнозирования. Функции принадлежности  $x^-(d_{t-3})$ ,  $x^+(d_{t-3})$ ,  $y^-(d_{t-2})$ ,  $y^+(d_{t-2})$ ,  $z^-(d_{t-1})$  и  $z^+(d_{t-1})$  входных переменных вышеуказанным нечетким множествам изображены на рисунках 3–5.

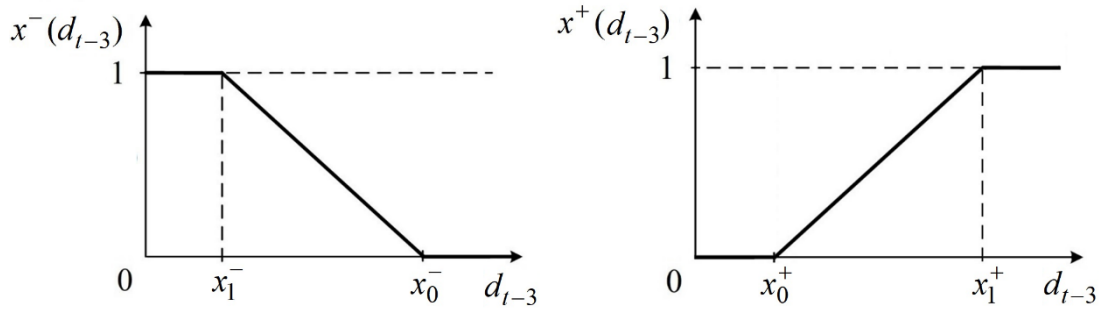


Рис. 3. Функции принадлежности  $x^-(d_{t-3})$  и  $x^+(d_{t-3})$

Fig 3. Membership functions  $x^-(d_{t-3})$  and  $x^+(d_{t-3})$

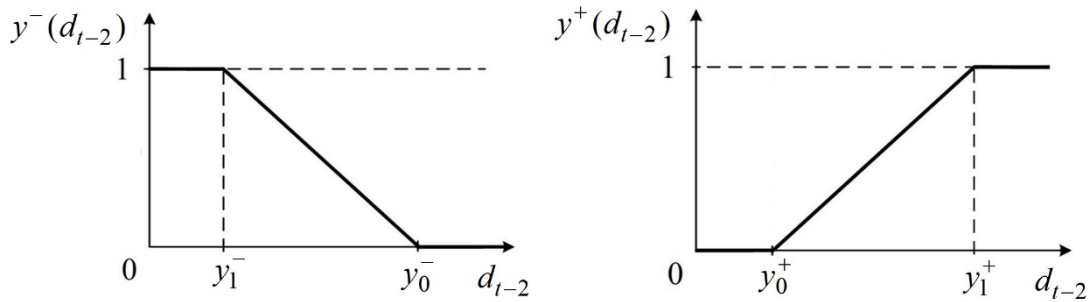


Рис. 4. Функции принадлежности  $x^-(d_{t-2})$  и  $x^+(d_{t-2})$

Fig 4. Membership functions  $x^-(d_{t-2})$  and  $x^+(d_{t-2})$

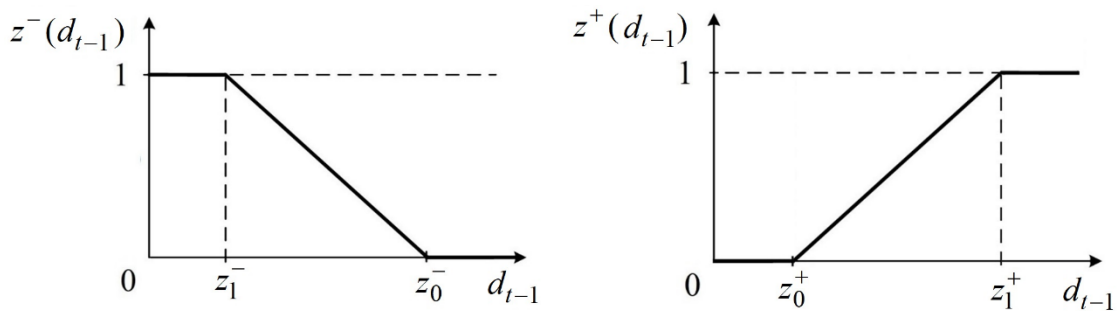


Рис. 5. Функции принадлежности  $x^-(d_{t-1})$  и  $x^+(d_{t-1})$

Fig 5. Membership functions  $x^-(d_{t-1})$  and  $x^+(d_{t-1})$

На рисунках 3–5 границы наклонных отрезков функций принадлежности обозначены  $x_0^-$ ,  $x_1^-$ ,  $x_0^+$ ,  $x_1^+$ ,  $y_0^-$ ,  $y_1^-$ ,  $y_0^+$ ,  $y_1^+$ ,  $z_0^-$ ,  $z_1^-$ ,  $z_0^+$  и  $z_1^+$ . Для вычисления величины  $\hat{d}_t$  на основе нечеткого вывода последовательно выполняются процедуры фаззификации, агрегирования и дефаззификации.

Фаззификация выполняется с помощью следующих выражений:

$$x^-(d_{t-3}) = \begin{cases} 1, & d_{t-3} \leq x_1^-; \\ \frac{x_0^- - d_{t-3}}{x_0^- - x_1^-}, & x_1^- < d_{t-3} < x_0^-; \\ 0, & d_{t-3} \geq x_0^-; \end{cases} \quad (26)$$



$$x^+(d_{t-3}) = \begin{cases} 0, & d_{t-3} \leq x_0^+; \\ \frac{d_{t-3} - x_0^+}{x_1^+ - x_0^+}, & x_0^+ < d_{t-3} < x_1^+; \\ 1, & d_{t-3} \geq x_1^+; \end{cases} \quad (27)$$

$$y^-(d_{t-2}) = \begin{cases} 1, & d_{t-2} \leq y_1^-; \\ \frac{y_0^- - d_{t-2}}{y_0^- - y_1^-}, & y_1^- < d_{t-2} < y_0^-; \\ 0, & d_{t-2} \geq y_0^-; \end{cases} \quad (28)$$

$$y^+(d_{t-2}) = \begin{cases} 0, & d_{t-2} \leq y_0^+; \\ \frac{d_{t-2} - y_0^+}{y_1^+ - y_0^+}, & y_0^+ < d_{t-2} < y_1^+; \\ 1, & d_{t-2} \geq y_1^+; \end{cases} \quad (29)$$

$$z^-(d_{t-1}) = \begin{cases} 1, & d_{t-1} \leq z_1^-; \\ \frac{z_0^- - d_{t-1}}{z_0^- - z_1^-}, & z_1^- < d_{t-1} < z_0^-; \\ 0, & d_{t-1} \geq z_0^-; \end{cases} \quad (30)$$

$$z^+(d_{t-1}) = \begin{cases} 0, & d_{t-1} \leq z_0^+; \\ \frac{d_{t-1} - z_0^+}{z_1^+ - z_0^+}, & z_0^+ < d_{t-1} < z_1^+; \\ 1, & d_{t-1} \geq z_1^+. \end{cases} \quad (31)$$

Результаты агрегирования  $G_1, G_2, \dots, G_8$  вычисляются по формулам:

$$G_1 = x^+(d_{t-3}) \wedge y^+(d_{t-2}) \wedge z^+(d_{t-1}), \quad (32)$$

$$G_2 = x^+(d_{t-3}) \wedge y^+(d_{t-2}) \wedge z^-(d_{t-1}), \quad (33)$$

$$G_3 = x^+(d_{t-3}) \wedge y^-(d_{t-2}) \wedge z^+(d_{t-1}), \quad (34)$$

$$G_4 = x^+(d_{t-3}) \wedge y^-(d_{t-2}) \wedge z^-(d_{t-1}), \quad (35)$$

$$G_5 = x^-(d_{t-3}) \wedge y^+(d_{t-2}) \wedge z^+(d_{t-1}), \quad (36)$$

$$G_6 = x^-(d_{t-3}) \wedge y^+(d_{t-2}) \wedge z^-(d_{t-1}), \quad (37)$$

$$G_7 = x^-(d_{t-3}) \wedge y^-(d_{t-2}) \wedge z^+(d_{t-1}), \quad (38)$$

$$G_8 = x^-(d_{t-3}) \wedge y^-(d_{t-2}) \wedge z^-(d_{t-1}). \quad (39)$$

В процессе дефазификации вычисляется прогнозируемое значение выходной переменной:

$$\hat{d}_t = \frac{\sum_{k=1}^8 G_k r_k}{\sum_{k=1}^8 G_k}. \quad (40)$$

Чтобы с помощью представленных выше выражений (26)–(40) можно было вычислить искомую величину  $\hat{d}_t$ , прежде необходимо найти  $x_0^-, x_1^-, x_0^+, x_1^+, y_0^-, y_1^-, y_0^+, y_1^+, z_0^-, z_1^-, z_0^+, z_1^+, r_1, r_2, \dots, r_8$ , т. е. неизвестные значения параметров функций принадлежности, а также индивидуальных выводов нечетких правил. Отыскание этих значений выполняется в ходе настройки параметров нечеткого вывода. Такую настройку целесообразно осуществлять на основе применения нейросетевого аппарата [Махди и др., 2022].

В рассматриваемом случае нейронная сеть представляет собой многослойную структуру с тремя входами и одним выходом, для создания которой использовался пакет Fuzzy Logic Toolbox и интерактивное приложение Neuro-Fuzzy Designer вычислительной программной среды MATLAB. В качестве данных для настройки параметров нечеткого вывода использовалась обучающая выборка, фрагмент которой представлен в таблице 4.

Таблица 4  
Table 4

Фрагмент обучающей выборки  
Fragment of training set

$d_{t-3}$	$d_{t-2}$	$d_{t-1}$	$d_t$
...	...	...	...
480	481	484	484
481	484	484	485
484	484	485	485
484	485	485	483
485	485	483	480
485	483	480	482
483	480	482	486
480	482	486	489
482	486	489	494
486	489	494	495
...	...	...	...

В целях минимизации ошибки обучения нейросетевая настройка осуществлялась в течение 2000 эпох, при этом использовался алгоритм обучения, реализующий комбинацию метода наименьших квадратов и метода убывания обратного градиента. Тестирование настроенной системы показало хорошее соответствие результатов прогнозирования (показаны пунктирной линией на рисунке 6) эмпирическим данным.

Проведен статистический анализ отклонений результатов прогнозирования от эмпирических данных. Фрагмент массива отклонений, вычисленных по формуле (9) для результатов прогнозирования на основе нечеткого вывода, представлен в таблице 5.

Результаты вычислений по формулам (10)–(15) показали, что при доверительной вероятности  $\varphi = 0,95$  среднее отклонение прогнозных значений  $\hat{d}_t$  от соответствующих эмпирических данных  $d_t$  находится в пределах от 0,35 м до 1,08 м. Получена приемлемая точность аппроксимации, что позволяет обосновать целесообразность применения системы нечеткого вывода для решения задачи прогнозирования величины среднего расстояния между передающими и приемными узлами FANET.

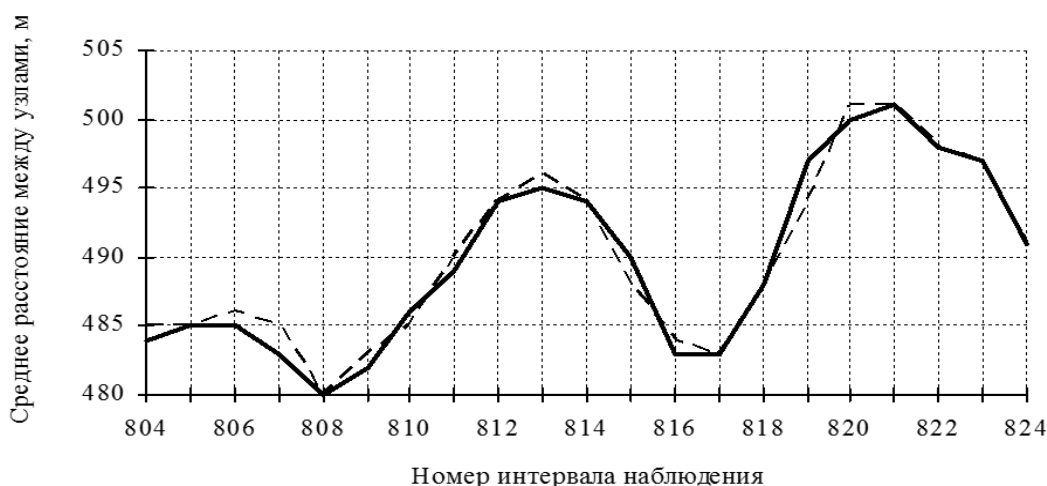


Рис. 6. Результаты аппроксимации с помощью модели на базе нечеткого вывода  
 Fig. 6. Approximation results using a model based on fuzzy inference

Таблица 5  
 Table 5

Фрагмент массива отклонений результатов прогнозирования на основе нечеткого вывода  
 Fragment of the array of deviations of forecasting results based on fuzzy inference

$t$	$\Delta_t$	$t$	$\Delta_t$	$t$	$\Delta_t$
...	...	811	1	819	3
804	1	812	0	820	1
805	0	813	1	821	0
806	1	814	0	822	0
807	2	815	2	823	0
808	0	816	1	824	0
809	1	817	0	...	...
810	1	818	0	...	...

### Заключение

Таким образом, в статье представлены результаты исследования по разработке моделей прогнозирования среднего расстояния между передающими и приемными узлами FANET. Применение регрессионных и авторегрессионных моделей дает неприемлемые отклонения результатов прогноза от эмпирических данных, что приводит к уменьшению вероятности требуемого качества видеотрансляции по сети до недопустимо низкого уровня.

Предложена модель прогнозирования среднего расстояния между передающими и приемными узлами летающей самоорганизующейся сети, новизна которой заключается в применении нечеткого вывода для вычисления среднего расстояния между сетевыми узлами в текущем временном интервале на основе известных значений этой величины в трех предшествующих интервалах. Нейросетевая настройка в течение многократных обучающих циклов дает возможность автоматически подобрать неизвестные значения параметров нечеткого вывода. Применение модели позволяет обеспечить среднюю ошибку прогнозирования в приемлемых пределах (от 0,35 м до 1,08 м при доверительной вероятности 0,95). Результаты исследования показали, что разработанную модель на базе нечеткого вывода целесообразно использовать для решения задачи прогнозирования величины среднего расстояния между передающими и приемными узлами летающей самоорганизующейся сети.

Предметом дальнейшей работы в рамках темы исследования станет создание алгоритмического и программного обеспечения для реализации предложенной в статье модели.

### Список литературы

- Агузумцян 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.
- Вентцель Е.С. 2006. Теория вероятностей. 10-е изд. стер. М, Высшая школа, 575 с.
- 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.
- 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.
- 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.
- Bukhari A. H., Sulaiman M., Islam S. 2020. Neuro-fuzzy modeling and prediction of summer precipitation with application to different meteorological stations. *Alexandria Engineering Journal*, 59(1): 101–116.
- 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.
- 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.
- Konstantinov I., Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O. 2017. Model of neuro-fuzzy prediction of confirmation timeout in a mobile ad hoc network. *CEUR Workshop Proceedings. Proceedings of the International Conference Mathematical and Information Technologies (MIT 2016)*: 174–186.
- 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.
- Pilato G., Yarushev S. A., Averkin A. N. 2019. Prediction and detection of user emotions based on neuro-fuzzy neural networks in social networks. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 875: 118–125.
- Polshchikov K., Lazarev S., Zdorovtsov A. 2017. Multimedia Messages Transmission Modeling in a Mobile Ad Hoc Network. *Proceedings of the 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*: 24–27.
- Polshchikov K.O., Lazarev S.A., Kiseleva E.D. 2018. Mathematical Model of Multimedia Information Exchange in Real Time Within a Mobile Ad Hoc Network. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 18(6): 20–24.
- Polshchikov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S. 2020. Algorithm for receiving the recommended bandwidth of a wireless self-organizing network channel. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 8(3): 1873–1879.
- Polshchikov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S., Kiselev V. 2021. Justification for the decision on loading channels of the network of geoeological monitoring of resources of the agroindustrial complex. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(3): 781–787.
- 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.





- Rohi G., Ofualagba G. 2020. Autonomous monitoring, analysis, and countering of air pollution using environmental drones. *Heliyon*, 6(1): 1–10.
- 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.
- Tu C. H., Li C. 2020. Multitarget prediction using an aim-object-based asymmetric neuro-fuzzy system: A novel approach. *Neurocomputing*, 389: 155–169.
- Velikanova A.S., Polshchikov K.A., Likhosherstov 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.

## References

- Aguzumtsyan R.V., Velikanova A.S., Polshchikov K.A., Igityan E.V., Likhosherstov 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.
- Ventcel' E.S. 2006. *Teoriya veroyatnostej*. 10-e izd. ster. Moskva, Vysshaja shkola, 575 s.
- 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
- 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
- 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.
- Bukhari A. H., Sulaiman M., Islam S. 2020. Neuro-fuzzy modeling and prediction of summer precipitation with application to different meteorological stations. *Alexandria Engineering Journal*, 59(1): 101–116.
- 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.
- 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.
- Konstantinov I., Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O. 2017. Model of neuro-fuzzy prediction of confirmation timeout in a mobile ad hoc network. *CEUR Workshop Proceedings. Proceedings of the International Conference Mathematical and Information Technologies (MIT 2016)*: 174–186.
- 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.
- Pilato G., Yarushev S. A., Averkin A. N. 2019. Prediction and detection of user emotions based on neuro-fuzzy neural networks in social networks. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 875: 118–125.
- Polshchikov K., Lazarev S., Zdorovtsov A. 2017. Multimedia Messages Transmission Modeling in a Mobile Ad Hoc Network. *Proceedings of the 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*: 24–27.
- Polshchikov K.O., Lazarev S.A., Kiseleva E.D. 2018. Mathematical Model of Multimedia Information Exchange in Real Time Within a Mobile Ad Hoc Network. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 18(6): 20–24.
- Polshchikov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S. 2020. Algorithm for receiving the recommended bandwidth of a wireless self-organizing network channel. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 8(3): 1873–1879.
- Polshchikov K., Shabeeb A.H.T., Lazarev S., Kiselev V. 2021. Justification for the decision on loading channels of the network of geocological monitoring of resources of the agroindustrial complex. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(3): 781–787.

- 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.
- Rohi G., Ofualagba G. 2020. Autonomous monitoring, analysis, and countering of air pollution using environmental drones. *Heliyon*, 6(1): 1–10.
- 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.
- Tu C. H., Li C. 2020. Multitarget prediction using an aim-object-based asymmetric neuro-fuzzy system: A novel approach. *Neurocomputing*, 389: 155–169.
- 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.*

**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

**Алативи Хуссейн Турки Шабиб**, аспирант, ассистент, Профессионально-техническая школа, г. Дивания, Ирак

**Alateewe H.T. Shabeeb**, postgraduate student, Assistant of Diwanyia Vocational Secondary School, Diwanyia City, Iraq

**Лихошерстов Родион Валерьевич**, соискатель кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Rodion V. Likhoshesterov**, Degree of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Польшиков 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 National Research University, Belgorod, Russia



УДК 004.5

DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-630-640

## **Информационная модель невербальных сигналов акустического и визуального каналов коммуникации, учитывающая индивидуально-психологические особенности профилируемой личности**

**Алейников С.А., Гофман О.О., Басов О.О.**

Университет ИТМО,

Россия, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, лит А

E-mail: aleynikov.sergey.a@gmail.com, ms.gofman@mail.ru, oobasov@mail.ru

**Аннотация.** Переход большинства коммуникаций в виртуальное пространство, ускоренный пандемией коронавируса и её последствиями, а также повышение устойчивости коммуникативного взаимодействия посредством технических средств определили переход в цифровое пространство и кадрового профайлинга. Однако необходимый для него анализ невербальных сигналов межличностной коммуникации оказался ограниченным, даже при достаточно развитых средствах инфокоммуникаций. В указанных условиях повышению эффективности цифрового профайлинга способствует развитие интеллектуальных методов восполнения невербальной составляющей поведения человека в ходе онлайн-коммуникации с кадровым сотрудниками, исходя из объективных материалов (данных, получаемым по невербальным каналам коммуникации и характеризующих текущие состояния собеседников и (или) о результатах моделирования такого взаимодействия), и создания интерпретируемых предсказательных моделей такого поведения. В рамках проведённого исследования разработана информационная модель невербальных сигналов акустического и визуального каналов коммуникации, позволяющая представить процесс цифрового профайлинга на метауровне – описать поведение и намерения коммуникаторов. Её детализация на микро- и мезо-уровнях позволит осуществить предсказательное моделирование поведения профилируемой личности на основе алгоритмов машинного, в том числе глубокого, обучения.

**Ключевые слова:** цифровой профайлинг, невербальная коммуникация, акустический канал, визуальный канал, полимодальная инфокоммуникационная система

**Благодарности:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-21-00604).

**Для цитирования:** Алейников С.А., Гофман О.О., Басов О.О. 2022. Информационная модель невербальных сигналов акустического и визуального каналов коммуникации, учитывающая индивидуально-психологические особенности профилируемой личности. Экономика. Информатика, 49(3): 630–640. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-630-640

---

## **Information Model of Non-Verbal Signals of Acoustic and Visual Communication Channels, Taking into Account the Individual Psychological Characteristics of the Profiled Personality**

**Sergey A. Aleynikov, Olga O. Hoffman, Oleg O. Basov**

ITMO University,

49-A Kronverkskiy Ave, St. Petersburg, 197101, Russia

E-mail: aleynikov.sergey.a@gmail.com, ms.gofman@mail.ru, oobasov@mail.ru

**Abstract.** The transition of most communications to the virtual space, accelerated by the coronavirus pandemic and its consequences, as well as the increase in the stability of communication interaction through technical

means, determined the transition to the digital space and personnel profiling. However, the analysis of non-verbal signals of interpersonal communication necessary for him turned out to be limited, even with sufficiently developed means of infocommunications. Under these conditions, increasing the effectiveness of digital profiling is facilitated by the development of intelligent methods for replenishing the non-verbal component of human behavior in the course of online communication with staff members, based on objective materials (data obtained through non-verbal communication channels and characterizing the current state of the interlocutors and (or) the results of modeling such interactions), and creating interpretable predictive models of such behavior. As part of the study, an information model of non-verbal signals of acoustic and visual communication channels has been developed, which makes it possible to present the process of digital profiling at the meta level - to describe the behavior and intentions of communicators. Its detailing at the micro and mesa levels will make it possible to carry out predictive modeling of the behavior of a profiled personality based on machine learning algorithms, including deep learning.

**Keywords:** digital profiling, nonverbal communication, acoustic channel, visual channel, polymodal infocommunication system

**Acknowledgements:** this research is financially supported by The Russian Science Foundation, Agreement № 22-21-00604.

**For citation:** Aleinikov S.A., Hoffman O.O., Basov O.O. 2022. Information Model of Non-Verbal Signals of Acoustic and Visual Communication Channels, Taking into Account the Individual Psychological Characteristics of the Profiled Personality. Economics. Information technologies, 49(3): 630–640. DOI 10.52575/2687-0932-2022-49-3-630-640

---

## Введение

В ходе межличностной коммуникации люди почти всегда взаимодействуют многомерно, подсознательно используя как вербальные, так и невербальные каналы. С помощью вербальной коммуникации передается словесный смысл сообщений, тогда как невербальные каналы коммуникации необходимы для того, чтобы регулировать течение коммуникационного процесса, создавать психологический контакт между собеседниками, обогащать информацию, передаваемую вербальными средствами, направлять истолкование словесного текста, выражать эмоции и отражать истолкование ситуации. Невербальная коммуникация реализуется на основе акустического (паралингвистического и экстралингвистического), визуального (передача информации посредством мимики, жестов, поз, взгляда), символического (внешний вид), тактильного (осязательного) и ольфакторного (обоняние) каналов. Считается, что через невербальный канал коммуникации передается от 50 до 93 % всей информации собеседнику [Басов, Сайтов, 2013]. Однако психика человека работает таким образом, что в ходе коммуникационного акта в большей степени поддаются контролю вербальные каналы коммуникации, в отличие от невербальных, которые контролировать сложнее [Гусев, Сильницкая, 2013]. Психологи считают, что правильная интерпретация невербальных сигналов является важнейшим условием оценки и прогнозирования поведения человека в профайлинге.

Вынужденный переход большинства коммуникаций в онлайн, связанный с пандемией коронавируса, и устойчивое продолжение (из-за осязательного удобства) коммуникативного взаимодействия посредством технических средств определили переход в цифровое пространство и кадрового профайлинга.

Между тем, несмотря на наблюдаемый рост объёма и интенсивности использования технических средств межличностной коммуникации, возможности анализа невербальных сигналов оказываются ограниченными, что существенно снижает эффективность онлайн-профайлинга. Это происходит как в силу объективных причин, снижающих качество передаваемой информации (потеря и искажение данных при передаче по инфокоммуникационным каналам), так и по причине высокой степени неопределенности относительно её невербального компонента (нечеткая картинка, ограниченный сектор обзора камеры, посторонние шумы в акустическом канале, искажения в условиях низкоскоростных каналов связи).



Как следствие, преодоление этой проблемы требует развития интеллектуальных методов восполнения невербальной составляющей поведения человека в ходе онлайн-профайлинга, исходя из объективных материалов (данных, получаемых по невербальным каналам коммуникации и характеризующих текущие состояния собеседников и (или) результатах моделирования самого такого взаимодействия), и создания интерпретируемых предсказательных моделей такого поведения. Это позволит, в свою очередь, создавать инструменты оперативной психодиагностики (определение психотипа человека) и определения его искренности (неинвазивная детекция лжи).

Создание таких инструментов на основе уже существующих массовых интеллектуальных технологий (анализ речи, изображений, биометрических факторов и пр.) затруднительно в силу следующих причин:

1) отсутствия адекватных прогнозных моделей поведения человека, основанных на идентификации его состояния и намерений;

2) отсутствия формального описания зависимостей между характеристиками вербальных и невербальных сигналов коммуникации и состояниями (намерениями) ее участников;

Для решения перечисленных выше задач необходимо развить математический и алгоритмический аппарат извлечения и обработки таких данных и формализации получаемых знаний в форме интерпретируемых предсказательных моделей, учитывая следующие особенности:

– трудноформализуемое описание взаимосвязи между невербальными сигналами и особенностями личности человека, его психофизиологическим и эмоциональным состоянием, истинностью высказываний и намерений;

– слабоструктурированный характер данных, определяющих поведение человека в процессе кадрового профайлинга;

– априорное предположение о наличии пропусков и некорректных значений в данных невербальных каналов коммуникации, связанных как с неполной наблюдаемостью среды (например, при использовании только одного коммуникационного канала, например, когда человек молчит), так и с неподдающимся контролю поведением коммуникантов.

Целью работы является построение информационных моделей и структур многомодальных данных, извлекаемых из невербальных сигналов акустического и визуального каналов коммуникации и используемых для решения задач конструирования и идентификации предсказательных моделей поведения человека.

### **Формальное описание информационных моделей полимодальной инфокоммуникационной системы и невербальных сигналов акустического и визуального каналов коммуникации**

Предложенные в [Смирнов, Безручко, Басов, 2019] терминологический базис, концептуальная и формальная модели социо-киберфизических систем позволяют определить полимодальную инфокоммуникационную систему (ПИКС) как совокупность информационной I, когнитивной C и транспортной T подсистем:

$$\left\{ P, \xi^P, I, \xi^I, C, \xi^C, R, \xi^R, \langle I \rangle^{\xi^I}, \langle \langle I \rangle^{\xi^I} \rangle^{\xi^P}, \langle C \rangle^{\xi^C}, \langle \langle C \rangle^{\xi^C} \rangle^{\xi^C}, \langle R \rangle^{\xi^R}, \Gamma_{T1}, \Gamma_{T2} \right\},$$

где  $P, \xi^P$  – пользователь и его тезаурус, соответственно;  $I, \xi^I, \langle I \rangle^{\xi^I}, \langle \langle I \rangle^{\xi^I} \rangle^{\xi^P}$  – сущность, тезаурус, множества представлений и образов (в тезаурусе пользователя) информационной подсистемы, соответственно;  $C, \xi^C, \langle C \rangle^{\xi^C}, \langle \langle C \rangle^{\xi^C} \rangle^{\xi^C}$  – сущность, тезаурус, множества представлений и образов (в тезаурусе пользователя) когнитивной подсистемы, соответствен-

но;  $R, \xi^R, \langle R \rangle^{\xi^R}$  – ресурс, его тезаурус и множество состояний;  $\Gamma_{T1} : A \rightarrow \xi^R, \Gamma_{T2} : \xi^R \rightarrow B$  – пара отображений, определяющих транспортную подсистему и обеспечивающих передачу ресурса  $R$  от источника  $A$  к потребителю  $B$ .

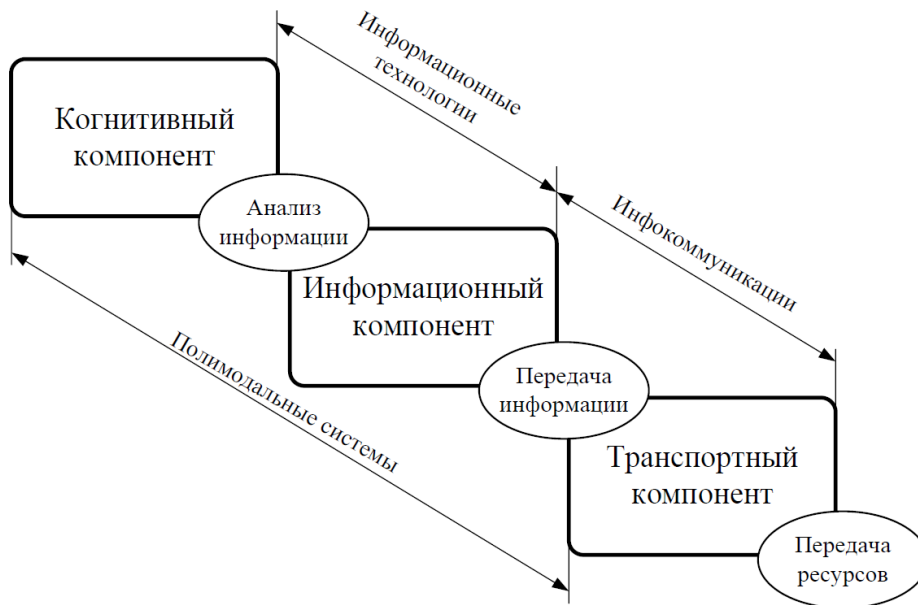


Рис. 1. Концептуальная модель полимодальной инфокоммуникационной системы  
 Fig. 1. Conceptual model of a polymodal infocommunication system

В рассматриваемом случае понятие «ресурсы» одинаково справедливо для всех подсистем ПИКС, поскольку передача информации от источника к потребителю не может осуществляться без использования ресурсов транспортной подсистемы, а когнитивные (пользовательские) ресурсы являются продуктом обработки информационных ресурсов.

Под сигналом будем понимать состояние ресурса  $R$ , сформировавшегося как следствие изменения источника сигнала  $A$ . Как следствие, изменение ресурса  $R$  будет приводить к изменению состояния приемника сигнала (потребителя)  $B$ .

Учитывая иерархичность подсистем ПИКС, указанный процесс формирования, преобразования и передачи сигнала от источника к приёмнику можно описать следующим образом:

$$\langle A \rangle^{\xi^A} \xrightarrow{\Gamma_A} \langle \langle A \rangle^{\xi^A} \rangle^{\xi^P} \xrightarrow{\Gamma_{T1}} \langle R \rangle^{\xi^R} \xrightarrow{\Gamma_{T2}} \langle \langle \langle \langle A \rangle^{\xi^A} \rangle^{\xi^P} \rangle^{\xi^I} \rangle^{\xi^C} \xrightarrow{\Gamma_B} \langle B \rangle^{\xi^B}. \quad (1)$$

Исходя из подхода Н. Винера [Винер, 1968], согласно которому «... информация представляет собой воспроизведение множества состояний её носителя, пространственно-временной упорядоченности множества состояний её источника, воздействующего на носитель», физическая природа сигнала отступает на второй план по отношению к его информационной сущности, которая и определяется способом описания первичной информационной модели (1). Тогда информация является относительной, зависящей от способа  $\Gamma_A$  описания её носителя, который выбирается исходя из тех или иных целей. При этом информация как реальность реализуется лишь внутри приёмника (потребителя), который обладает способностью узнавать принятый сигнал, отображать его ( $\Gamma_B$ ) в виде образа и распознавать. Потен-



циальная возможность содержания информации в ресурсе  $R$  и затем в сигнале превращается

в реальность в образе  $\langle \langle \langle \langle A \rangle^{\xi^A} \rangle^{\xi^P} \rangle^{\xi^I} \rangle^{\xi^C} \rangle$ .

Переходя к полимодальному представлению информации [Саитов, 2016] сигнал (1) можно декомпозировать на его вербальную и невербальную составляющие, преобразовав сущность и тезаурус когнитивной подсистемы  $S$  ПИКС и предположив, что обе составляющие описываются одинаково в тезаурусе информационной системы  $I$ . Такое предположение справедливо ввиду континуальности невербальной коммуникации (сообщение невербального канала коммуникации сложно разложить на отдельные единицы информации) и взаимосвязанности и взаимообусловленности невербальных и вербальных сигналов коммуникации<sup>1</sup>, к которым в рамках проведенного исследования отнесены:

- для акустического канала:
  - а) паралингвистические параметры голоса человека – громкость голоса и ее изменение, скорость и ритмичность речи, тембр, звучность, напряженность, мелодика голоса (хрипота, носовой звук, скрежетание и т. д.), ясность артикуляции;
  - б) экстралингвистические неречевые вкрапления в речь – стоны, смех, плач, вздохи, паузы, «слова-паразиты» («mmm», «ох», «вот»);
- для визуального канала:
  - в) позы (положение человеческого тела), которые можно классифицировать на основе следующих критериев:
    - этапы общения (позы вступления и выхода из контакта);
    - виды отношений и взаимоотношений (поза симпатии – антипатии; подчинения – доминирования; включенности – отчужденности);
    - психофизиологические состояния (напряженная – расслабленная, активная – пассивная поза);
    - соответствие поз партнеров в общении (синхронные – асинхронные позы);
    - направленность позы по отношению к партнеру (лицом к лицу – спина к спине);
    - соответствие позы другим элементам невербального поведения (гармоничная – дисгармоничная);
  - в) жесты (движения рук или кистей рук), выделяемые на основе участия в их создании одной или двух рук; по признаку перекрещивания или симметричного расположения рук; по признаку центробежности (движение от себя) или центростремительности (движение к себе); по критерию однозначности и многозначности;
  - г) визуальное поведение людей во время общения – параметрами взгляда являются его направление, линия и объект, движение и величина глаз, длительность визуального контакта, размер зрачков;
  - д) мимика (движения лицевых мускулов и характеристики кожи). П. Экман и У. Фризен, изучая сокращения лицевых мышц, пришли к выводу, что существует три типа мимических сигналов: стабильные (цвет кожи, форма и конструкция лица); относительно стабильные (внешний вид кожи, расположение морщин, тонус мышц лица – признаки, претерпевающие изменения в течение жизни человека); нестабильные – кратковременные изменения движений мышц лица. Ими были выделены пять типов движений: эмблемы (движения, заменяющие слова или фразы), иллюстраторы (движения, сопровождающие вербальные сообщения), экспрессивные речевые знаки (движения, служащие для выражения эмоций), регуляторы беглости коммуникации, адаптеры (движения, сопровождающие потребности человека, их функция в общении – в защите, поддержке человеком себя).

<sup>1</sup> Для рассматриваемой в исследовании задачи цифрового профайлинга актуальны к рассмотрению акустический и визуальный каналы коммуникации и соответствующие им сигналы

С точки зрения правильной интерпретации невербальных сигналов в задаче прогнозирования поведения человека сущности *С* когнитивной подсистемы ПИКС могут быть представлены следующим образом (рис. 2).



Рис. 2. Сущности когнитивной подсистемы полимодальной инфокоммуникационной системы  
Fig. 2. The essence of the cognitive subsystem of a multimodal infocommunication system

Прежде всего, специфика невербальной коммуникации обусловлена *индивидуально-психологическими характеристиками личности* профилируемого человека, а именно физиологическими особенностями индивида и его личным опытом (здесь факторы невербальных реакций являются относительно стабильными в однотипных ситуациях), а также *контекстом ситуации*, в котором невербальные проявления возникают как реакция психики на текущую ситуацию и отношение человека к данной ситуации.

*Характеристики* (черты) *личности* являются показателем устойчивого поведения человека. Прежде всего, на невербальную коммуникацию влияет «природный фундамент личности» – темперамент, причем он влияет на три сферы: коммуникативную, психомоторную и эмоциональную. В работе [Гусев, Сильницкая, 2013; Гусев, Сильницкая, 2014] отмечается, что темперамент и характер оказывают совокупное (совместное) влияние на параметры интонирования, что связано с сильной или слабой выраженностью свойств темперамента как ресурсного базиса проявления черты характера. Наиболее очевидной является характеристика «экстраверсия – интроверсия». Так, были получены результаты [DePaulo, 1992], согласно которым люди с выраженной интроверсией обладают менее яркой невербаликой, чем экстраверты. Когда испытуемые экстраверты пытались создать положительный образ себя, их легко раскрывали через их невербалику. Кроме того, в [Lippa, 1998] установлено, что наблюдатели могут достоверно обнаружить экстраверсию по видеозаписи с невербаликой человека, что говорит о том, что люди с высокой экстраверсией имеют специфические невербальные проявления.

Другой важный показатель – локус контроля – склонность личности приписывать внешним (экстернальный локус контроля) или внутренним (интернальный локус контроля) факторам. В исследовании [Levashina, Campion, 2006] рассматривалась взаимосвязь возможности управлять впечатлением на собеседовании с локусом контроля. Было выявлено, что люди с выраженным интернальным локусом контроля в большей степени уверены, что способны контролировать ситуацию и использовали невербальную коммуникацию, чтобы управлять представлением о себе у других людей. В исследованиях [Carton, Nowicki, 1997; Carton, Carton, 1998] выявлено, что матери с интернальным локусом контроля больше невербально демонстрируют тепло своим детям, а дети с интернальным локусом контроля больше улыбались. Результаты обоих исследований можно объяснить тем, что люди с интернальным локусом контроля изменяют свою невербалику так, чтобы управлять впечатлением.





*Культура* как общая система социально передаваемого поведения описывает, определяет и направляет образ жизни людей, передаваемый из поколения в поколение и также во многом определяет специфику невербальной коммуникации, прежде всего, гендерное поведение и социальный статус. Так, в [Matsumoto, Hwang, 2013] культуры разделены на контактные и неконтактные. На основе анализа 30 стран установлено, что контактные культуры больше смотрят прямо в глаза собеседнику и используют больше прикосновений. В работе [Hall, Coats, LeBeau, 2005] проводится анализ невербальной коммуникации между мужчинами и женщинами и их возраста. Установлено, что во время межличностного взаимодействия в группе из нескольких людей, женщины улыбаются чаще мужчин, это характерно как для детей, так и для взрослых. Данная закономерность распространялась и на позирование для фотографий. Наиболее ярко закономерность проявлялась в подростковом возрасте, что, по мнению исследователя, связано с тем, что в подростковом возрасте наиболее сильно усваиваются гендерные стереотипы в невербальном реагировании. В исследовании [Brey, Shutts, 2014] отмечается, что невербальная коммуникация сообщает информацию о социальном статусе человека. Так, детям демонстрировали видео, в котором взаимодействовали два человека разного социального статуса, и начиная с 5 лет дети успешно определяли статус только по невербальным проявлениям. Это говорит не только о том, что дети к этому возрасту начинают улавливать социальные закономерности, а также о том, что люди с помощью невербальных проявлений передают информацию о занимаемых социальных ролях. В обзоре [Lakin] указывается, что влиятельные люди говорят громче, чаще заходят в личное пространство, больше перебивают. Менее влиятельные люди чаще смотрят на людей, когда их слушают, чем когда говорят.

С точки зрения *контекста ситуации*, в котором разворачивается поведение, на невербальную коммуникацию влияют:

- место коммуникации (место работы, открытое пространство, домашняя обстановка);
- окружение, а именно отсутствие или присутствие других людей, количество участников коммуникации и отношения между ними;
- временной контекст ситуации, предшествующие или последующие события;
- значимость ситуации.

В зависимости от отношения человека к ситуации (насколько данная ситуация типична или нова для человека) будет определяться специфическое поведение и степень «управляемости» невербальными сигналами: невербальные проявления могут быть автоматическими (непреднамеренными, неосознаваемыми, неконтролируемыми) и произвольными (преднамеренными, осознаваемыми и контролируемыми) [Lakin]. Так, в исследовании [Dirboye, Macan, Shahani-Denning, 2012] было показано, что кандидаты на собеседовании склонны управлять впечатлением и им присуще больше обычного улыбаться и наклоняться к интервьюеру, проявляя заинтересованность и стремясь представить себя с лучшей стороны. Однако даже при контроле невербальных сигналов устранить их полностью невозможно, так как невербальные сигналы обычно проходят в фоновом автоматическом процессе и для их контроля необходимо тратить дополнительные ресурсы. Это проще сделать при выполнении простых задач, чем сложнее задача, тем чаще человек будет пропускать автоматическую невербальную реакцию [Канеман]. В исследованиях [DePaulo, 1992; Feldman, Tomasian, Coats, 1999; Feldman, Philippot, Custrini, 1991] отмечается, что люди с высокой социальной компетентностью успешнее управляют впечатлением и более убедительно врут (передают ложную невербальную информацию).

С учётом изложенного на основании выражения (1) информационную модель невербальных сигналов акустического и визуального каналов коммуникации, учитывающую индивидуально-психологические особенности профилируемой личности, можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned}
 & \langle A \rangle^{\xi^A} \xrightarrow{\Gamma_A} \langle \langle A \rangle^{\xi^A} \rangle^{\xi^P} \xrightarrow{\Gamma_{T1}} \langle R \rangle^{\xi^R} \xrightarrow{\Gamma_{T2}} \\
 & \xrightarrow{\Gamma_{T2}} \langle \langle \langle \langle A \rangle^{\xi^A} \rangle^{\xi^P} \rangle^{\xi^I} \rangle^{\xi^{C_{ВЛ}}} \cup \langle \langle \langle \langle A \rangle^{\xi^A} \rangle^{\xi^P} \rangle^{\xi^I} \rangle^{\xi^{C_{К}}} \cup \langle \langle \langle \langle A \rangle^{\xi^A} \rangle^{\xi^P} \rangle^{\xi^I} \rangle^{\xi^{C_{Э}}} \\
 & \cup \langle \langle \langle \langle A \rangle^{\xi^A} \rangle^{\xi^P} \rangle^{\xi^I} \rangle^{\xi^{C_{КД}}} \cup \langle \langle \langle \langle A \rangle^{\xi^A} \rangle^{\xi^P} \rangle^{\xi^I} \rangle^{\xi^{C_{П}}} \xrightarrow{\Gamma_B} \langle B \rangle^{\xi^B},
 \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\xi^{C_{ВЛ}}, \xi^{C_{К}}, \xi^{C_{Э}}, \xi^{C_{КД}}, \xi^{C_{П}}$  – тезаурус когнитивной подсистемы ПИКС, определяющий внутриличностные и культурные характеристики личности пользователя, его эмоции, проявления когнитивной деятельности и поведение, соответственно, влияющими на невербальную коммуникацию.

### Заключение

Исходя из представленной информационной модели (2), невербальные каналы коммуникации позволяют получать достоверную информацию о пользователе  $P$  и формировать его личностный профиль, в котором учитывается:

- текущее эмоциональное состояние коммуникатора и динамика изменения состояния в процессе беседы. Так, например, для гнева характерны поднятые вверх плечи, вытянутые вперед руки, жесты, направленные от себя и к себе, много жестов иллюстраторов, высокая двигательная активность; при этом происходит резкое увеличение силы голоса, его высоты и резкости;

- особенности личностных черт. Так, человек оценивается как более активный или суетливый, когда быстро говорит; более сильный, агрессивный, доминантный, наделенный лидерскими качествами, когда долго смотрит на собеседника и громко говорит [Brooks, Church, Fraser, 1986]; более целеустремленный, волевой, когда говорит глухим, низким голосом;

- коммуникативные качества. Например, коммуникаторы, желающие расположить реципиента к себе, говорят быстрее и дольше, жестикулируют интенсивнее, чаще улыбаются и кивают головой, чем те, кто не имеет подобной цели [Меграбян, 2001];

- социальный статус и уверенность коммуникатора. Например, мужчина с расслабленным выражением лица воспринимается как обладающий большей референтной, легитимной, экспертной властью, а также властью, основанной на вознаграждении и наказании, чем мужчина с напряженным. Кроме того, прямой контакт глаз воспринимается как признак наличия у мужчины референтной власти [Aguinis, Simonsen, Pierce, 1998]. Расслабленное выражение лица у женщин, напротив, воспринимается как признак отсутствия любого типа власти, а прямой контакт глаз увеличивает восприятие власти, основанной на наказании [Aguinis, Simonsen, Pierce, 1998]. Кроме того, восприятие власти связано с громкостью голоса: чем тише голос, тем меньший социальный статус приписывается коммуникатору [Гусев, Сильницкая, 2013].

Таким образом, разработанная информационная модель невербальных сигналов акустического и визуального каналов коммуникации (2) позволяет представить процесс цифрового профайлинга на метауровне – описать поведение и намерения коммуникаторов, что на микро- и мезо-уровнях позволит осуществить предсказательное моделирование поведения профилируемой личности на основе алгоритмов машинного, в том числе глубокого, обучения.



## Список литературы

- Басов О.О., Сайтов И.А. 2013. Основные каналы межличностной коммуникации и их проекция на инфокоммуникационные системы. Труды СПИИРАН, выпуск 30: 122–140.
- Винер Н. 1968. Кибернетика. М., Сов. радио, 311.
- Гулевич О.А. 2007. Психология коммуникации. М., Московский психологосоциальный институт, 384.
- Гусев А.Н., Сильницкая А.С. 2013. Сравнительный анализ влияния демонстративности, гипертимности и дистимности на интонационные параметры речи. Национальный психологический журнал. 1(9): 110–120.
- Гусев А.Н., Сильницкая А.С. 2014. Влияние демонстративности и коммуникативной активности личности на интонационные параметры речи в разных ситуациях общения. Вестник ТвГУ. Серия: Педагогика и психология (2): 77–97.
- Канеман Д. Думай медленно... решай быстро [пер. с англ. А. Андреева, Ю. Деглиной, Н. Парфеновой]. Москва, АСТ (кор. 2015), 653.
- Меграбян А.А. 2001. Психодиагностика невербального поведения. Санкт-Петербург, Речь, 256.
- Сайтов С.И. 2016. Частные задачи оптимизации функциональных характеристик полимодальных инфокоммуникационных систем. Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. Вып. 37, 2(223): 178–181.
- Смирнов А.В., Безручко В.В., Басов О.О. 2019. Теоретические основы построения социоконвергентных систем. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 46 (3): 532–539. DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-3-532-539.
- Aguinis H., Henle C.A. 2001. Effects of nonverbal behavior on perceptions of a female employee's power bases. *The Journal of Social Psychology*, 141(4): 537–549.
- Aguinis H., Simonsen M.M., Pierce C.A. 1998. Effects of nonverbal behavior on perceptions of power bases. *The Journal of Social Psychology*, 138(4): 455–469.
- Brey E., Shutts K. 2014. Children Use Nonverbal Cues to Make Inferences About Social Power. *Child Development*. 86(1): 276–286. DOI: 10.1111/cdev.12334.
- Brooks C.I., Church M.A., Fraser L. 1986. Effects of duration of eye contact on judgments of personality characteristics. *The Journal of Social Psychology*, 126(1): 71–78.
- Carton J.S., Carton E.E.R. 1998. Nonverbal Maternal Warmth and Children's Locus of Control of Reinforcement. *Journal of Nonverbal Behavior*, 22: 77–86. DOI: 10.1023/A:1022904626582.
- Carton J.S., Nowicki S. 1997. Origins of Generalized Control Expectancies: Reported Child Stress and Observed Maternal Control and Warmth. *The Journal of Social Psychology*. DOI: 10.1080/00224545.1996.9712251
- DePaulo B.M. 1992. Nonverbal behavior and self-presentation. *Psychological Bulletin*, 111(2): 203–243. DOI: 10.1037/0033-2909.111.2.203.
- Dipboye R.L., Macan T., Shahani-Denning C. 2012. The selection interview from the interviewer and applicant perspectives: Can't have one without the other. In N. Schmitt (Ed.), *The Oxford handbook of personnel assessment and selection*. Oxford University Press: 323–352. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199732579.013.0015.
- Feldman R.S., Philippot P., Custrini R.J. 1991. Social Competence and Nonverbal Behavior. In R.S. Feldman, B. Rime (Eds.), *Fundamentals of Nonverbal Behaviour*. New York, Cambridge University Press: 329–520.
- Feldman R.S., Tomasian J.C., Coats E.J. 1999. Nonverbal Deception Abilities and Adolescents' Social Competence: Adolescents with Higher Social Skills are Better Liars. *Journal of Nonverbal Behavior*, 23: 237–249. DOI: 10.1023/A:1021369327584.
- Hall J.A., Coats E.J., LeBeau L.S. 2005. Nonverbal Behavior and the Vertical Dimension of Social Relations: A Meta-Analysis. *Psychological Bulletin*, 131(6): 898–924.
- Lakin J.L. Automatic cognitive processes and nonverbal communication. In V. Manusov & M.L. Patterson (Eds.), *The SAGE handbook of nonverbal communication*. Thousand: 59–77.
- Levashina J., Campion M.A. 2006. A Model of Faking Likelihood in the Employment Interview. *International Journal of Selection and Assessment*, 14(4): 299–316. DOI: 10.1111/j.1468-2389.2006.00353.x
- Lippa R. 1998. The Nonverbal Display and Judgment of Extraversion, Masculinity, Femininity, and Gender Diagnosticity: A Lens Model Analysis. *Journal of Research in Personality*, 32(1): 80–107.

Matsumoto D., Hwang H.S. 2013. Cultural influences on nonverbal behavior. In D. Matsumoto, M.G. Frank, H.S. Hwang (Eds.), *Nonverbal communication: Science and applications*. Sage Publications, Inc.: 97–120. DOI: 10.4135/9781452244037.n5.

## References

- Basov O.O., Saitov I.A. 2013. The main channels of interpersonal communication and their projection on infocommunication systems. *SPIIRAS Proceedings*, issue 30: 122–140 (in Russian).
- Wiener N. 1968. *Cybernetics*. M., Sov. radio, 311 (in Russian).
- Gulevich O.A. 2007. *Psychology of communication*. M., Moscow Psychological and Social Institute, 384 (in Russian).
- Gusev A.N., Silnitskaya A.S. 2013. Comparative analysis of the influence of demonstrativeness, hyperthymity and distimacy on the intonation parameters of speech. *National Psychological Journal*. 1(9): 110–120 (in Russian).
- Gusev A.N., Silnitskaya A.S. 2014. The influence of demonstrativeness and communicative activity of a person on the intonation parameters of speech in different situations of communication. *Bulletin of TVGU. Series: Pedagogy and Psychology* (2): 77–97 (in Russian).
- Kahneman D. Think slowly ... decide quickly [transl. from English. A. Andreeva, Yu. Deglina, N. Parfenova]. Moscow, AST (cop. 2015), 653.
- Megrabyan A.A. 2001. *Psychodiagnostics of non-verbal behavior*. St. Petersburg, Rech, 256 (in Russian).
- Saitov S.I. 2016. Particular problems of optimizing the functional characteristics of polymodal infocommunication systems. *Scientific statements of BelSU. Ser. Economy. Informatics*. Issue 37, 2(223): 178–181 (in Russian).
- Smirnov A.V., Bezruchko V.V., Basov O.O. 2019. Theoretical foundations for constructing socio-cyber-physical systems. *Scientific statements of the Belgorod State University. Series: Economy. Informatics*. 46(3): 532–539 (in Russian). DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-3-532-539.
- Aguinis H., Henle C.A. 2001. Effects of nonverbal behavior on perceptions of a female employee's power bases. *The Journal of Social Psychology*, 141(4): 537–549.
- Aguinis H., Simonsen M.M., Pierce C.A. 1998. Effects of nonverbal behavior on perceptions of power bases. *The Journal of Social Psychology*, 138(4): 455–469.
- Brey E., Shutts K. 2014. Children Use Nonverbal Cues to Make Inferences About Social Power. *Child Development*. 86(1): 276–286. DOI: 10.1111/cdev.12334.
- Brooks C.I., Church M.A., Fraser L. 1986. Effects of duration of eye contact on judgments of personality characteristics. *The Journal of Social Psychology*, 126(1): 71–78.
- Carton J.S., Carton E.E.R. 1998. Nonverbal Maternal Warmth and Children's Locus of Control of Reinforcement. *Journal of Nonverbal Behavior*, 22: 77–86. DOI: 10.1023/A:1022904626582.
- Carton J.S., Nowicki S. 1997. Origins of Generalized Control Expectancies: Reported Child Stress and Observed Maternal Control and Warmth. *The Journal of Social Psychology*. DOI: 10.1080/00224545.1996.9712251
- DePaulo B.M. 1992. Nonverbal behavior and self-presentation. *Psychological Bulletin*, 111(2): 203–243. DOI: 10.1037/0033-2909.111.2.203.
- Dipboye R.L., Macan T., Shahani-Denning C. 2012. The selection interview from the interviewer and applicant perspectives: Can't have one without the other. In N. Schmitt (Ed.), *The Oxford handbook of personnel assessment and selection*. Oxford University Press: 323–352. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199732579.013.0015.
- Feldman R.S., Philippot P., Custrini R.J. 1991. Social Competence and Nonverbal Behavior. In R.S. Feldman, B. Rime (Eds.), *Fundamentals of Nonverbal Behaviour*. New York, Cambridge University Press: 329–520.
- Feldman R.S., Tomasian J.C., Coats E.J. 1999. Nonverbal Deception Abilities and Adolescents' Social Competence: Adolescents with Higher Social Skills are Better Liars. *Journal of Nonverbal Behavior*, 23: 237–249. DOI: 10.1023/A:1021369327584.
- Hall J.A., Coats E.J., LeBeau L.S. 2005. Nonverbal Behavior and the Vertical Dimension of Social Relations: A Meta-Analysis. *Psychological Bulletin*, 131(6): 898–924.
- Lakin J.L. Automatic cognitive processes and nonverbal communication. In V. Manusov & M.L. Patterson (Eds.), *The SAGE handbook of nonverbal communication*. Thousand: 59–77.



- Levashina J., Champion M.A. 2006. A Model of Faking Likelihood in the Employment Interview. *International Journal of Selection and Assessment*, 14(4): 299–316. DOI: 10.1111/j.1468-2389.2006.00353.x
- Lippa R. 1998. The Nonverbal Display and Judgment of Extraversion, Masculinity, Femininity, and Gender Diagnosticity: A Lens Model Analysis. *Journal of Research in Personality*, 32(1): 80–107.
- Matsumoto D., Hwang H.S. 2013. Cultural influences on nonverbal behavior. In D. Matsumoto, M.G. Frank, H.S. Hwang (Eds.), *Nonverbal communication: Science and applications*. Sage Publications, Inc.: 97–120. DOI: 10.4135/9781452244037.n5.

**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

**Алейников Сергей Андреевич**, инженер, Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия

**Гофман Ольга Олеговна**, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник, Университет ИТМО, исследовательский центр в сфере искусственного интеллекта «Сильный искусственный интеллект в промышленности», г. Санкт-Петербург, Россия

**Басов Олег Олегович**, доктор технических наук, доцент, профессор факультета цифровых трансформаций, Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Sergey A. Aleynikov**, engineer, ITMO University, St. Petersburg, Russia

**Olga O. Hoffman**, Candidate of Psychological Sciences, Senior Researcher, ITMO University, Research Center on Artificial Intelligence "Strong Artificial Intelligence in Industry", St. Petersburg, Russia

**Oleg O. Basov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Faculty of Digital Transformations, ITMO University, St. Petersburg, Russia